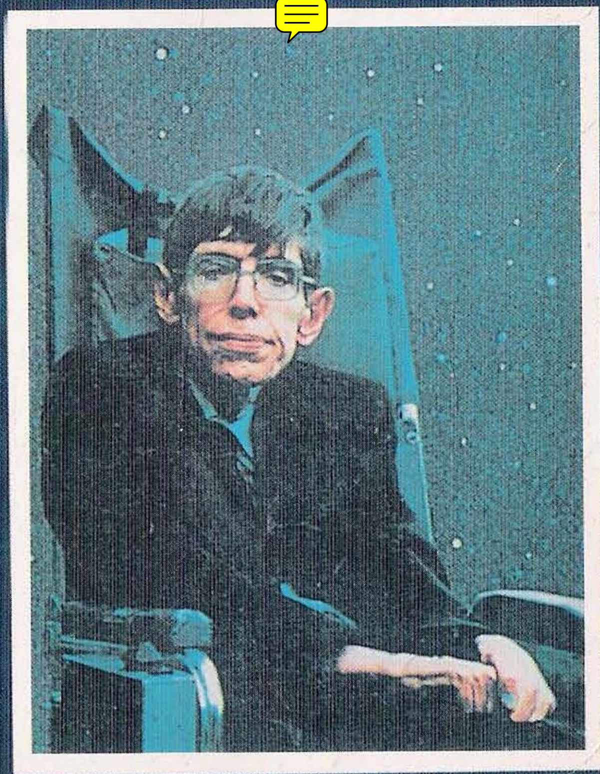
ZAMANIN KISA TARİHİ

BÜYÜK PATLAMADAN KARADELİKLERE



Stephen W. Hawking

Milliyet YAYINLARI

ZAMANIN KISA TARİHİ
Stephen W. Hawking

Zamanın Kısa Tarihi-A Brief History Of Time./İnceleme

ISBN 975-506-005-C

Yazan: Stephen W. HAWKING
İngilizceden Türkçeye Çeviren:
Dr. Sabit SAY-Murat URAZ
Yayın Yönetmeni: Yalvaç ÜRAL
Yayınlatan (Sorumlu Müdür): Hikmet ALTINKAYNAK
Kapak: Ertan GÖKEMRE
Düzelti: Süleyman GÜL-Çağrı GÜRBÜZ
Dizgi: Hayriye KAYMAZ

Milliyet Yayın. A.Ş.
Doğan Medya Center, 34554 Bağcılar-İSTANBUL
Tel: 505 61 11 Fax: 505 61 31

Stephen W. Hawking

ZAMANIN KISA TARİHİ

Büyük Patlamalar Kara Delikler

Carl Sagan'ın Önsözüyle



İÇİNDEKİLER

YAZARIN NOTU

UZAY zaman konusunda herkesin anlayabileceği bir kitap yazmaya 1982'de Harvard'da verdiğim dersler sonunda karar verdim. Daha o zaman bile evrenin ilk zamanları ve kara delikleri üzerine, örneğin Steven Weinberg'ün "The First Three Minutes" (İlk Üç Dakika) kitabı gibi çok iyisinden, adını anmayacağım çok kötüsüne, pek çok kitap vardı. Ama hiçbirinin, beni evrenbilimi ve tanecik kuramı üzerinde araştırmaya yönelten soruları hakkıyla ele almadığını hissettim. Evren nereden çıktı? Nasıl ve niçin başladı? Sonu gelecek mi, gelecekse nasıl? Bunlar hepimizi ilgilendiren sorular. Ama çağdaş bilim öylesine tekniğe dayalı bir duruma geldi ki, ancak çok az sayıda uzman, gereken matematik araçları uygulayabilecek kadar ustalaşabiliyor. Yine de, evrenin doğuşu ve yazgısına ilişkin temel kavramlar, matematik kullanılmadan, bilimsel eğitimi olmayanların da anlayabileceği bir biçimde açıklanabilir.

Biri bana, kitaba koyduğun her denklemin satışı yarıya indireceğini söyledi. Ben de önce tek bir denklem bile koymamayı kararlaştırmışken, sonunda yine de bir denklem, Einstein'ın ünlü $E=mc^2$ denklemini koydum. Umarım okuyucuların yarısını korkutup elimden kaçırmam.

ALS* ya da motor nöron hastalığına yakalanmak şanssızlığı dışında başka her şeyde çok talihliyim. Karım Jane'den, çocuklarım

* ALS: Amyotrophic Lateral Sclerosis

Robert, Lucy ve Timmy'den gördüğüm yardım ve destek oldukça normal bir yaşam sürdürebilmemi ve işimde başarılı olabilmemi sağladı. Kuramsal fiziği seçmiş olduğum için de yine şanslı sayılırım, çünkü yalnızca sağlam kafa istiyor. Böylelikle sakatlığım önemli bir köstek olmadı. Meslektaşım bilimciler de hepsi çok yardımcı oldular.

Meslek yaşamının ilk "klasik" aşamasında başlıca çalışma arkadaşlarım Roger Penrose, Robert Geroch, Brandon Carter ve George Ellis idi. Bana ettikleri yardım ve birlikte yaptığımız çalışmalar için teşekkür borçluyum. Bu aşamadaki çalışmalar Ellis ile 1973'te birlikte yazdığımız "The Large Scale Structure of the Spacetime" (Uzay Zamanın Büyük Ölçekteki Yapısı) adlı kitapta toplandı. Bu kitabın okuyucularına, daha fazla bilgi için o çalışmaya başvurmalarını öğütleyemeyeceğim, hem o çok teknik hem de okunması oldukça zor. Umarım o zamandan bu yana anlaşılması kolay biçimde nasıl yazılacağını öğrenmişimdir.

Çalışmalarımın 1974'te başlayan ikinci "tanecik" aşamasında, başlıca iş arkadaşlarım Gary Gibbons, Don Page ve Jim Hartle idi. Onlara ve bana, sözcüğün hem fiziksel hem de kuramsal anlamıyla, çok büyük yardımda bulunan araştırma öğrencilerime çok şey borçluyum. Öğrencilerime ayak uydurmak gereği beni her zaman dürtüklemiş ve umarım, bir dönmedolaba bağlı kalmamı önlemiştir.

Bu kitabı yazarken öğrencim Brian Whitt'den çok yardım gördüm. İlk müsveddeyi yazdığım 1985 yılında zatürnefe borusu ameliyatı olmak zorunda kaldım ve bu, iletişimde bulunmamı neredeyse olanaksız hale getirdi. Kitabı bitiremeyeceğimi sanıyordum. Ama Brian, düzeltmede bana yardım etmekle kalmayıp, Sunnyvale, California'da Words Plus şirketinden Walt Woltosz tarafından bağışlanan Living Center (Yaşayan Özek) adlı bilgisayarlı iletişim programını kullanmamı sağladı. Bununla kitaplar, makaleler yazabiliyor ve yine Sunnyvale, California'da Speech Plus şirketince bağışlanan bir yapay konuşma aygıtıyla da başkalarıyla konuşabiliyorum. Konuşma aygıtı ve küçük bilgisayarı tekerlekli iskemle-

me David Mason taktı. Bu sistem her şeyi değiştirdi. Aslında şimdi, sesimi yitirmeden öncekinden daha iyi iletişim kurabiliyorum.

Kitabın baskıdan önceki halini gören pek çok kişiden düzeltme önerileri geldi. Özellikle Bantam Books'ta kitabı basıma hazırlayan Pteer Fuzzardi, iyi açıklayamadığımı hissettiği noktalara ilişkin sayfalar dolusu sorular ve eleştiriler yolladı. Değiştirilecek bölümlerin listesini aldığımda ne yalan söyleyeyim oldukça sinirlendim ama adam çok haklıydı. Kitabın daha iyi oluşu, eminim ki burnumu taşa sürttüğü içindir.

Yardımcılarım Colin Williams, David Thomas ve Raymond Laflamme'ye, sekreterlerim Judy Fella, Ann Ralph, Cheryl Bilington ve Sue Masey ve hemşire ekibine çok minnettarım. Araştırmalarım ve sağlığım için yapılan giderleri karşılayan Gonville ve Caius College, the Science and Engineering Research Council ve Leverhulme, McArthur, Nuffield ve Ralp Simth vakıfları olmasaydı bunların hiçbiri gerçekleşemezdi. Hepsine çok müteşekkirim.

Stephen W. Hawking
20 Ekim 1987

ÖNSÖZ

Günlük yaşantımızı, dünyaya ilişkin hemen hiçbir şey anlamadan sürdürüp gidiyoruz. Yaşamı olanaklı kılan güneş ışığını üreten düzeni, yere yapıştırarak bizi Dünya'nın uzaya fırlatıp atmasını önleyen yerçekimini ya da kararlı dengesine temelden bağlı olduğumuz yapıtaşları atomları, aklımıza bile getirmeyiz. Çocuklar dışında (ki onlar önemli soruları soracak kadar çok şey bilmezler) çok azımız, acaba doğa neden böyle; evren nereden çıktı ya da her zaman var mıydı; zaman bir gün gelip geri akacak, nedenler sonuçları izleyecek mi; ya da insanoğlunun bilebileceği şeylerin bir sonu var mı diye meraklanarak zamanımızı harcarız. Öyle çocuklar var ki, kendi tanıdıklarımdan biliyorum, kara deliğin neye benzediğini, maddenin en ufak parçacığının ne olduğunu, neden geleceği değil de geçmişi anımsadığımıza, ilk zamanlarda karmakarışıklık varken nasıl olup da şimdi göründüğü kadarıyla bir düzen olduğunu ve niçin bir evren **olduğunu** bilmek istiyorlar.

Toplumumuzda ana babalar ve öğretmenler, bu soruların çoğunu omuz silkerek ya da belli belirsiz dinsel deyişlerle geçiştirme geleneğini hâlâ sürdürüyorlar. Bazıları böyle konulardan, insan kavrayışının sınırlarını canlı bir biçimde açığa çıkardığı için çok rahatsızlık duyuyor.

Bununla birlikte bilim ve felsefeyi çoğunlukla bu tür sorgulamalar ilerletmekte. Gittikçe artan sayıda yetişkin bu tür soruları sormak isteğinde, ara sıra şaşırtıcı yanıtlarla karşılaşmakta. Atomlardan ve yıldızlardan eşit uzaklıkta olan bizler, araştırma ufuklarımızı, hem en küçük hem de en büyük nesneleri kapsamına alarak genişletiyoruz.

1974 baharında, Viking uzay aracının Mars'a inmesinden iki yıl önce, ben İngiltere'de Royal Society of London'ın (Londra Kraliyet Derneği) desteğinde yapılan, dünyadışı yaşamın nasıl aranacağı sorusunu araştırma konusundaki bir toplantıdaydım. Kahve molası sıra-

sında, çok daha büyük bir toplantının bitişik salonda yapılmakta olduğunu farkettim ve merakımdan içeri girdim. Bir süre sonra, geleneksel bir törene tanık olduğumu anladım. Gezegenimizdeki en eski bilim kurumlarından biri olan Royal Society'ye yeni üyelerin kabul töreniydi bu. En ön sırada tekerlekli iskemlede bir genç adam, ilk sayfalarında Isaac Newton'ın imzasını taşıyan bir defteri yavaşça imzalıyordu. Nihayet bitirdiğinde bir alkış koptu; Stephen Hawking (Hokin)* o zaman bile bir efsane idi. Hawking şimdi Cambridge Üniversitesi'nde, çok büyük ve çok küçüğün iki şöhretli araştırıcısı Newton ve daha sonra P.A.M. Dirac tarafından işgal edilen Lucasian Professor of Mathematics (Lukasgil Matematik Profesörü) makam koltuğunda oturmaktadır. Onların ardılı olarak bu makamı haketmektedir. Elinizde tuttuğunuz, Hawkingi'in uzman olmayanlar için yazmış olduğu bu ilk kitabı, okuyucularını çeşitli biçimlerde ödüllendirecektir: Yazarının kafa işleyişini zaman zaman yansıtışı, kitabın geniş kapsamlı içeriği kadar ilginçtir. Bu kitap, gökbilimin, evrenbilimin ve de cesaretin ön saflarını, kolay anlaşılır bir biçimde göz önüne sermektedir.

Aynı zamanda bu, Tanrı... ya da belki de Tanrı'nın yokluğu üzerine bir kitaptır. Tanrı sözcüğü geçmektedir birçok yerinde. Hawking, Einstein'ın "Tanrı'nın evreni yaratmada bir seçeneği var mıydı?" yolundaki ünlü sorusunu yanıtlamak için araştırmaya girmiştir. Kendisinin de açıkça belirttiği gibi, Hawking, Tanrı'nın düşüncesini anlamaya çalışmaktadır. Bu da uğraşın sonucunu, en azından gelindiği kadarıyla, daha bir beklenilmedik yapmaktadır; uzayda kenarı, zamanda başlangıcı ya da sonu ve Tanrı'nın yapacak hiçbir şeyi olmayan bir evren.

Carl Sagan
Cornell Üniversitesi
Ithaca, New York

* Ç.N.: İsimlerin İngilizce yazılışlarının Türk alfabesine göre okunuşları parantez içinde verilmektedir.

1
EVRENİ NASIL GÖRÜYORUZ?

Günlerden bir gün ünlü bilimci (söylentiye göre Bertrand Russell (Rasıl) gökbilimi üzerine söylev vermektedir. Dünyanın güneş etrafında nasıl döndüğünü, güneşin de galaksi denen uçsuz bucaksız yıldızlar kümesi etrafında nasıl devindiğini anlatır. Konuşmasının sonunda salonun en arkasında oturan ufak tefek yaşlı bir bayan ayağa kalkar ve "Bütün söyledikleriniz saçma sapan şeyler. Aslında, dünya dev bir kaplumbağanın sırtında bir tepsi gibi durmakta" der. Bilimci ise yüzünde esaslı bir gülümseme ile yanıtlar: "Peki, ya kaplumbağa neyin üstünde duruyor?". "Sen çok akıllısın delikanlı, çok akıllı" der yaşlı bayan, "Ama ondan aşağısı hep kaplumbağa!".

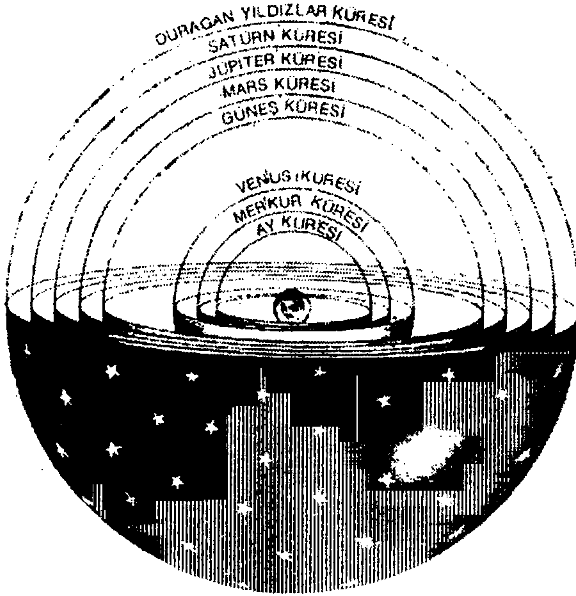
Evreni sonu olmayan bir kaplumbağa kulesi biçiminde düşünmek çoğumuza oldukça saçma gelir, ama neye dayanarak daha doğrusunu bildiğimizi sanıyoruz? Evrene ilişkin ne biliyoruz ve nasıl biliyoruz? Evren nereden gelip nereye gidiyor? Evrenin bir başlangıcı var mıydı, var idiyse ondan **önce** ne oldu?

Zamanın doğası nedir? Bir sonu olacak mı? Son zamanlarda fizik biliminde, bir bölümüne teknolojideki baş döndürücü yeni gelişmelerin olanak sağladığı atılımlar uzun zamandan beri sorulagelen bu soruların bazılarına yanıt verebiliyor. Bu yanıtlar güneşin etrafında dönmesi kadar açık -ya da belki kaplumbağalar kulesi

kadar saçma- olabilir günün birinde. Bunu ancak zaman (o da her ne demekse) gösterecek.

Daha İ.Ö. 340'ta Yunanlı düşünür Aristo **Gökkubbe Üstüne** adlı kitabında, dünyanın düz bir tepsi değil de yuvarlak bir küre olduğuna ilişkin iki geçerli sava yer vermekteydi. Birincisi, Aristo, ay tutulmalarına güneş ve ay arasına giren dünyanın neden olduğunu anlamıştı. Dünyanın ay üstüne düşen gölgesi, dünya ancak küresel biçimde ise her zaman göründüğü gibi küresel olabilirdi. Eğer dünya düz bir disk (yassı bir daire) olsaydı, güneş diskin özeğinin tam altında olmadığı sürece dünyanın gölgesi bir elips (çekik daire) gibi uzamalıydı. İkinci olarak, Eski Yunanlılar yaptıkları yolculuklardan, Kutup Yıldızının güneyde, kuzeyde gözlendiğinden daha alçakta göründüğünü biliyorlardı. (Kutup Yıldızı, Kuzey Kutbu'nun tam üzerinde olduğu için Kuzey Kutbu'ndaki bir gözlemcinin tam tepesinde görünür, ekvatordan bakan birisi için ise tam ufuktadır.) Aristo, Kutup Yıldızı'nın Mısır'da ve Yunanistan'da göründüğü açıların farkından yararlanarak dünyanın çevresini 400.000 stadyum (eski bir uzunluk birimi) olarak hesaplamıştı. Bugün bir stadyumun ne uzunlukta olduğu kesin olarak bilinmiyor ama yaklaşık 190 metreye karşılık olduğu söylenebilir. Bu hesaba göre, Aristo'nun tahmini bugün kabul edilen değerin iki katıdır. Yunanlıların dünyanın yuvarlak olması gerektiğine ilişkin bir üçüncü savları daha vardı: Yoksa neden ufukta gözüken bir geminin yelken direkleri gövdesinden önce görünsündü?

Aristo, dünyanın durağan olduğunu; güneşin, ayın, gezegenlerin ve yıldızların da onun etrafında dairesel devinimlerde bulunduğunu sanıyordu. Dünyanın evrenin özeğinde bulunduğuna ve en yetkin devinimin de dairesel olduğuna, bazı gizemli nedenlerden dolayı inandığı için bu sonuca varmıştı. Bu düşünce İ.S. ikinci yüzyılda Ptolemy (Tolemi okunur, Batlamyus olarak da bilinir) tarafından geliştirilerek kapsamlı bir gökbilimsel model içine oturtuldu. Özekte duran dünyamız, ayı, güneşi, yıldızları ve o zaman bilinen beş gezegeni, yani Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn'ü taşıyan sekiz tane iç içe küre tarafından çevrelenmekteydi



Şekil 1.1

(Şekil 1.1). Gezegenler, gökte gözlemlenen oldukça karmaşık yörüngelerine uyacak biçimde, kendilerine ait kürelere bağlı daha küçük daireler boyunca devinmekteydiler. En dıştaki küre, birbirine göre aynı konumu koruyan, gökyüzünde birlikte dönen ve "durağan" olarak bilinen yıldızları taşımaktaydı. En son kürenin dışında ne olduğu ise hiçbir zaman açıkça ortaya konmamıştı ama zaten ondan ötesi, insanoğlunun gözlemleyebildiği evrenin bir parçası değilde elbette.

Batlamyus'un modeli gökkubbedeki cisimlerin konumlarını hesaplayabilmek için akla yakın doğrulukta bir dizge getirmişti. Ama bu konumları doğru saptayabilmek için, Batlamyus ayın dünyaya uzaklığının arada bir yarıya indiğini varsaymak zorunda kalmıştı. Bu varsayım uyarınca ayın bazen iki katı büyük görünmesi gerekirdi! Batlamyus'un kendisi de modelindeki bu çatlağı görmüştü a-

ma yine de bu model, herkesçe değilse de çoğu kişi tarafından kabul gördü. Durağan yıldızlar küresinin ötesinde cennet ve cehennem için yeterince yer bıraktığından, bu model Hıristiyan Kilise-si'nce de kutsal kitaba uygun evren görüşü olarak benimsenmişti.

1514 yılında Polonyalı papaz Nicholas Copernicus (Kopernik) tarafından daha basit bir model öne sürüldü. (Kopernik, modelini ilk başta, kiliseden kafir damgası yememek için isimsiz olarak yaydı.) Kopernik'in düşünüşüne göre güneş özekte durağan olmak üzere, dünya ve gezegenler onun çevresinde dairesel yörüngelerde dönmekteydiler. Bu düşüncesinin ciddiye alınması için neredeyse bir yüzyıl geçmesi gerekti. Derken iki gökbilimci Alman Johannes Kepler ve İtalyan Galileo Galilei Kopernik'in kuramını, öngördüğü yörüngeler gözlemlere pek uymasa da açıkça savunmaya başladılar. Aristocu/Batlamyusçu kurama, öldürücü darbe 1609 yılında geldi. O yıl, Galileo, henüz yeni bulunan teleskop ile geceleri gökyüzünü gözlemeye vermişti kendini. Jüpiter gezegenine baktığı zaman çevresinde dönen birkaç uydu ya da ayın ona eşlik ettiğini gördü. Bu ise, Aristo ve Batlamyus'un düşündüğünün tersine, her şeyin dünya çevresinde dönmesinin gerekli olmadığı anlamına gelmekteydi. (Doğal olarak, dünyanın yine her şeyin özeğinde olduğuna, Jüpiter'in çevresinde dönüyorlarmış gibi göründüklerine inanmak olanaklıydı, ama Kopernik'in açıklaması buna oranla çok daha basitti.) Johannes Kepler bu arada Kopernik'in kuramında biraz değişiklik yaparak, gezegenlerin daire değil elips biçiminde yörüngeler izlediklerini öne sürdü. Böylelikle hesaplar sonunda gözlemlerle uyuşur duruma gelmişti.

Kepler'e göre eliptik yörüngeler, temeli olmayan ve üstelik çirkin bir varsayımdı, çünkü elips, daire kadar yetkin bir geometrik şekil değildi. Eliptik yörüngelerin gözlemlere uyduğunu neredeyse şans eseri bulmasına karşın, Kepler bunu, gezegenlerin güneş çevresinde manyetik çekim kuvveti ile döndüğü yolundaki açıklaması ile bir türlü bağdaştıramadı. Bunun uygun bir açıklaması çok daha sonra, 1687 yılında, Sir Isaac Newton (Nivtın) tarafından yayınlanan, fiziksel bilimlerin belki de en büyük yapıtı, **Philosophiae Na-**

turalis Principia Mathematica (Matematiğin İlkelerinin Doğal Felsefesi) ile sağlandı. Newton, bu yapıtında yalnızca cisimlerin uzay ve zaman içinde nasıl devindiklerine ilişkin bir kuram ileri sürmüyor, aynı zamanda bunu analiz edebilmek için gerekli olan matematiği de geliştiriyordu. Buna ek olarak, Newton evrendeki bir cismin, öteki her cisimce, cisimlerin kütleleri ve yakınlıklarıyla orantılı bir kuvvetle çekildiğine ilişkin evrensel bir çekim yasası öne sürmekteydi. Cisimlerin yere düşmesine neden olan da işte bu kuvvet idi. (Newton'ın başına düşen bir elmadan esinlendiği öyküsü ise kesinlikle uydurma. Newton'ın bu konuda söylediği yalnızca, kendisi "derin bir düşünme" anında iken bir elmanın düşmesiyle" yerçekimi kavramının zihninde uyandığıdır.) Newton kendi yasasından yola çıkarak, kütlesel çekimin, ayın dünyanın çevresinde, dünyanın ve gezegenlerin de güneşin çevresinde eliptik yörüngelerde dönmelerine neden olduğunu gösterdi.

Kopernik'in' modeli Batlamyus'un göksel kürelerini ve onlarla birlikte evrenin doğal sınırları düşüncesini yıktı. "Durağan" yıldızlar, dünyanın kendi ekseni etrafında dönmesinin verdiği, göğü boydan boya geçiyorlarmış izleniminin dışında, konumlarını değiştirmediklerinden, onları bizim güneşimize benzeyen ama ondan çok daha uzakta cisimler olarak kabullenmek doğal oldu.

Newton, çekim yasası uyarınca yıldızların birbirlerini çekmeleri gerektiğini ve bu yüzden temelde devinimsiz olamayacaklarını anlamıştı. Hepsini bir noktada toplanmaktan ne alıkoyuyordu? 1691 yılında zamanın diğer önemli düşünürlerinden iri olan Richard Bentley'ye (Bentli) yazdığı mektupta, Newton, sonlu sayıda yıldız uzayın sonlu bir bölgesi içine yayılmış ise yıldızların gerçekten bir noktada toplanacağını ileri sürdü. Ancak, öte yandan, sonsuz genişlikteki uzayda az çok düzgün dağılmış sonsuz sayıda yıldız bulunuyorsa, bunların toplanacağı belli bir özek olmayacağı için, sonucun böyle gerçekleşmeyeceğini belirtti.

Bu tür akıl yürütme, sonsuzluktan söz ederken, karşınıza çıkabilecek bataklardan bir tanesidir. Sonsuz bir evrende her nokta özekmiş gibi görünebilir, çünkü her noktanın çevresinde sonsuz sa-

yıda yıldız vardır. Doğru yaklaşım ise, çok daha sonraları anlaşıldığı gibi, önce yıldızların aynı noktaya çekildikleri sonlu durumu göz önüne almak, sonra da bu bölgenin dışına az çok düzgün dağılmış başka yıldızlar eklediğimizde ne olacağı sorusunu sormaktır. Newton'ın yasasına göre, sonradan eklenen yıldızlar ilk baştaki yıldızlara ortalama olarak hiçbir etki yapmayacağından, yıldızların yine hemen birbirleri üstüne düşmeleri gerekirdi. Bu modele ne kadar yıldız eklersek ekleyelim aynı sonuca uğrayacaklardır. Bugün biliyoruz ki, kütlesel çekim kuvvetinin her zaman etkili olduğu sonsuz genişlikte statik bir evren modeli olanaksızdır.

Yirminci yüzyıl öncesi evrenin genişlemekte ya da büzülmekte olduğunun hiç önerilmemiş olması o zamanların genel düşün ortamı için ilginç bir saptama. Genel inanışa göre evren, ya sonsuzdan beri hiç değişmeyen bir durumda varlığını sürdürmekteydi, ya da geçmişte bir anda az çok bugün gözlemlediğimiz biçimde yaratılmıştı. Böyle bir inanışın nedeni, insanların sonsuzluğa ilişkin soru sormaktan ürkme eğilimleri olduğu gibi, bir gün yaşlanıp ölecek olsalar bile evrenin sonsuzdan beri varolduğu ve hiç değişmeden sonsuza kadar varolacağı düşüncesinin rahatlığına sığınmaları da olabilir.

Newton'ın çekim yasasının, evrenin statik olamayacağını gösterdiğini kavrayanlar bile evrenin genişliyor olabileceğini akıllarına getirmediler. Bunun yerine çekim kuvvetini çok uzak mesafeler için itme kuvveti biçimine dönüştürerek kuramı değiştirmeye yeltendiler. Bu yenilik, gezegenlerin devinimlerini hesaplamada fazla bir değişiklik getirmeden, yakın yıldızlar arasındaki kuvvetin uzak yıldızların uyguladığı itme kuvvetiyle dengelendiği sonsuz sayıdaki yıldızın denge konumuna olanak verdi. Ama şimdi biliyoruz ki böyle bir denge kararsızdır: Eğer belli bir bölgedeki yıldızlar birbirlerine azıcık yaklaşacak olsalar, aralarındaki çekim kuvveti uzak yıldızların itme kuvvetine üstün gelir ve yıldızlar birbirlerinden azıcık uzaklaşacak olsalar, bu kez itme kuvvetinin üstün gelmesiyle birbirlerinden daha da uzaklaşırlardı.

Sonsuz statik evren düşüncesine bir diğer karşı çıkış da 1823

yılında bu konuya ilişkin bir makale yayınlayan Alman feylesof Heinrich Olbers'e (Olbers) atfedilir. Aslında Newton'ın çok sayıda çağdaşı bu soruna parmak basmıştı, hatta Olbers'in makalesi akla uygun karşı çıkışlar içeren tek yayın da değildi, ancak ilk kez yaygın biçimde onunkinden söz edilmiştir. Zorluk, sonsuz statik evrende hemen hemen her görüş çizgisinin bir yıldızın yüzeyinde sonlanacağından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden bütün gökyüzünün, gece bile, güneş gibi parlak olması gerekirdi. Olbers'in karşı görüşüne göre uzak yıldızların saçtığı ışıklar dünyamıza daha ulaşmadan aradaki madde tarafından zayıflatılıyor olmalıydı. Ama bu durumda aradaki maddenin sonuç olarak ısınması ve yıldızlar kadar parlıyor olması beklenmeliydi. Geceleyin bütün gökyüzünün güneş yüzeyi kadar parlak olması gerektiği sonucundan kaçınmanın tek yolu yıldızların sonsuzdan beri parlamadıklarını ama sonlu bir geçmişte yakıldıklarını varsaymak oluyordu. Böylece ışığı emen madde henüz ısınmamış ya da uzak yıldızların ışıkları henüz bize ulaşmamış olacaklardı. Bu da bizi ilk başta yıldızların nasıl yakıldıkları sorusuna getirir.

Evrenin başlangıcı doğal olarak bundan çok önce de tartışılıyordu. İlk astronomi bilgilerine ve Yahudi/Hıristiyan/İslam inançlarına göre evren çok uzak olmayan sonlu bir geçmişte başlamıştı. Böyle bir başlangıca inanmanın kaynağı, evrenin varlığını açıklamak için insanlar bir "İlk Neden" kavramının gerekli olduğunu sanmalarıydı. (Evrende her olay önceki bir olayın sonucu olarak açıklanır ama evrenin kendi varlığı bu yolla ancak bir başlangıcı oluşuyla açıklanabilirdi.) Diğer bir sav da **Tanrı'nın Şehri** adlı kitabında Aziz Augustine tarafından ortaya kondu. İleri sürdüğüne göre uygarlık gelişirken kimin ne yaptığını ve hangi tekniği geliştirdiğini anımsıyorduk. Şu halde, insanoğlu ve onunla birlikte evrende uzun bir süredir varolmuş olamazdı. Aziz Augustine evrenin Yaradılış tarihi olarak Tevrat'a dayanarak İ.Ö. 5000 yılını kabul etti. (İlginçtir ki bu tarihi, arkeologların uygarlığın gerçekten başladığı çağ olarak söyledikleri son Buzul Çağının bitiminden -yaklaşık İ.Ö. 10.000- o kadar uzak değildir)

Öte yandan Aristo ve diğer Yunan feylesoflarının çoğu, işe tanrıyı gereğinden fazla karıştırdığı için yaradılış düşüncesinden hoşlanmıyorlardı. Onların inancına göre insan soyu ve çevresindeki dünya sonsuzdan beri vardı ve sonsuza değin varolacaktı. Eski düşünürler yukarıda anlatılan uygarlığın gelişmesine ilişkin savı çoktan ele almış ve buna yanıt olarak da arka arkaya gelen sellerin ya da diğer felaketlerin insan soyunu, uygarlığın en başına tekrar geri götürdüğünü söylemişlerdir.

Evrenin zaman içinde başlangıcı ve uzay içinde sınırı olup olmadığı soruları daha sonra feylesof Immanuel Kant (Kant) tarafından 1781 yılında yayınlanan **Salt Düşüncenin Eleştirisi** adlı dev (ve anlaşılamayan) yapıtında geniş olarak incelendi. Kant bu soruları salt düşüncenin çelişkileri olarak adlandırdı. Çünkü evrenin bir başlangıcı olduğu tezi kadar, evrenin sonsuzdan beri varolduğu karşıtezine de inanmak için geçerli savlar olduğunu sanıyordu. Tezi savunmak için ileri sürdüğüne göre, bir başlangıcı yoksa herhangi bir olaydan önce sonsuz uzunlukta bir zaman olması gerekecekti ki, bunu saçma buluyordu. Karşıtezi savunmak için ileri sürdüğüne göre ise, eğer evrenin bir başlangıcı varsa ondan önce sonsuz uzunlukta bir zaman olmalıydı o halde evren başlamak için niye o belirli anı seçmişti? Kant'ın tez ve karşıteze ilişkin ortaya koyduğu savlar aslında birbirinin aynıydı. Her ikisi de açıkça ortaya koymadığı, evrenin sonsuzdan beri varolup olmadığı sorusundan bağımsız olarak zamanın sonsuzdan beri sürüp geldiği varsayımına dayanmaktaydı. Göreceğimiz gibi zaman kavramının evrenin başlangıcından önce hiçbir anlamı yoktur. Bu noktaya ilk olarak Aziz Augustine işaret etmiştir. Augustine, Tanrı evreni yaratmadan önce ne yapıyordu diye soru soranlara, "Böyle soruları soranlara cehennemi hazırlıyordu" biçiminde yanıt vermezdi. Onun yerine zamanın, Tanrı'nın yarattığı evrenin bir özelliği olduğunu, ondan önce zamanın olmadığını söylerdi.

İnsanların çoğunun temelde statik ve değişmeyen bir evrene inandıkları dönemde, evrenin bir başlangıcının olup olmadığı sorusu daha çok fizikötesi ve dinbilimi kapsamına giriyordu. Evrenin

hem sonsuzdan beri varolduğu kuramı, hem de belirli bir anda sanki sonsuzdan beri varmış gibi görünecek biçimde başlatıldığı kuramı, gözlemleri eşit geçerlikte açıklayabiliyordu. Ama 1929 yılında Edwin Hubble (Habıl) bir dönüm noktası olan gözlemini gerçekleştirdi: Hangi yöne bakarsak bakalım uzak yıldız kümeleri hızla bizden uzaklaşıyorlardı. Başka bir deyişle, evren genişliyordu. Bu demekti ki, eskiden cisimler birbirine bugün olduklarından daha yakındılar. Gerçekten de öyle görünüyordu ki, yaklaşık on ya da yirmi milyar yıl önce bir anda tüm cisimler tek bir noktadaydı ve bundan dolayı evrenin yoğunluğu o anda sonsuzdu. Bu buluş, evrenin başlangıcı sorusunu en sonunda bilimin alanına soktu.

Hubble'ın gözlemleri evrenin sonsuz küçüklükte ve sonsuz yoğunlukta olduğu Büyük Patlama denilen bir anın varlığını gösteriyordu. Bu koşullar altında bilimin bütün kuralları işlemez oluyor ve buna bağlı olarak geleceğe ilişkin kestirimlerde bulunmak olanaksızlaşıyordu. Bu andan önce olaylar olmuş olsa bile, şimdi olanları etkileyemezdi. Hiçbir gözlemsel sonuçları olmayacağı için bu olayın varlığı görmezlikten gelinebilir. Denebilir ki, zaman, daha önceki zamanlar tanımlanamayacağı için, büyük patlama ile başlamıştır. Yalnız, zamanın bu başlangıç kavramının daha öncekilerden çok daha değişik olduğunu vurgulamak gerekir. Değişmeyen bir evrende zamanın başlangıcı evren dışı bir varlık tarafından getirilmesi gereken bir şeydir; başlangıç için fiziksel bir gereklilik yoktur. Tanrı'nın evreni geçmişte, sözcüğün tam anlamıyla, istediği bir anda yarattığına inanılabilir. Öte yandan, eğer evren genişliyorsa zamanın başlangıcı için fiziksel nedenler olabilir. Canı isteyen hâlâ, Tanrı'nın evreni büyük patlama anında, hatta daha sonraki bir zamanda büyük patlama olmuş gibi, yarattığı yolunda düşünebilir, ama evrenin büyük patlamadan **önce** yaratıldığını varsaymak anlamsız olacaktır. Genişleyen bir evren bir yaratıcının varlığını dışlamıyor ama onun bu işi becerdiği zamana ilişkin sınırlamalar getiriyor!

Evrenin doğası üzerinde konuşabilmek ve başlangıcı ya da sonu olup olmadığını tartışabilmek için bir bilimsel kuramın ne oldu-

ğunu açıkça bilmeniz gerekir. Kolay bir yol seçerek, bir kuramı, evrenin ya da onun sınırlı bir parçasının modeli ve gözlemlerimizi bu modeldeki niceliklere bağlayan kurallar takımı olarak tanımlayacağım. Kuramın varlığı yalnızca aklımızın içindedir ve başkaca hiçbir gerçekliği (herhangi bir anlamda) yoktur. Bir kuram şu iki koşulu sağlıyorsa iyi bir kuramdır: Olabildiğince az sayıda isteğe bağlı öğeyi içeren bir modele dayanarak büyük bir gözlemler sınıfını doğrulukla betimlemeli ve gelecekteki gözlemlerin sonuçlarına ilişkin belirli kestirimlerde bulunabilmeli. Örneğin, Aristo'nun herşeyin toprak, hava, su ve ateşten oluştuğu yolundaki kuramı birinci koşulu sağlayabilecek basitlikte olmasına karşın gelecekteki olaylara ilişkin önceden belirli bir şey söylemiyordu. Öte yandan Newton'ın çekim yasası daha da basit şu modele dayanmakta: Cisimler kütle denen nicelikleri ile doğru orantılı olarak ve aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak birbirlerini çekerler. Ama bu kuram güneşin, ayın ve gezegenlerin devinimlerini büyük bir doğrulukla saptayabiliyor.

Fiziksel bir kuram, yalnızca bir önerme olması, yani doğruluğunun kanıtlanamaması bağlamında, her zaman geçicidir. Deneylerin sonuçları kuramla kaç kez uyuşursa uyuşsun gelecekte ortaya çıkacak bir sonucun kuramla çelişmeyeceğinden emin olamazsınız. Öte yandan, kuramın kestirimiyle ilgili tek bir çelişki bularak kuramın yanlışlığını kanıtlayabilirsiniz. Bilim felsefecisi Karl Popper'ın (Papır) vurguladığı gibi, iyi bir kuram ilkesel gözlemler tarafından yanlışlığı çıkarılabilen ya da doğru olmadığı kanıtlanabilen birtakım kestirmelerde bulunabilme özelliğini taşımalıdır. Kestirmelere uyan sonuçların elde edildiği her deney ya da gözlem sonucu, kuram yaşamını sürdürür ve ona olan güvenimiz artar; ama kuramla uyuşmayan herhangi bir gözlem ortaya çıkarsa, o kuramı ya bırakmalı ya da değiştirmeliyiz. En azından, böyle yapılması gerekir; ancak elbette gözlemci gerçekleştirilen kişinin yeteneklerinden kuşku duyabilirsiniz.

Uygulamada daha çok, yeni bir kuramın, önceki kuramın uzantısı olarak geliştirdiğine raslanır. Örneğin, Merkür gezegeninin çok

duyarlı biçimde gözlemlenmesi, onun devinimiyle Newton'ın kütlesel çekim kuramına dayanan hesaplamalar arasında küçük bir ayrımı ortaya çıkardı. Einstein'in genel görelik kuramı Newton'ın kuramından biraz daha değişik bir devinim öngörüyordu. Newton'ın kuramının uymadığı gözlemlere Einstein'ın kuramının uyması, yeni kuramın can alıcı doğrulamalarından biriydi. Ama Newton kuramını günlük yaşamda hâlâ kullanıyoruz, çünkü uğraştığımız olağan işlerde onun sonuçlarıyla genel görelik kuramının sonuçları arasındaki ayrım önemsenmeyecek kadar küçüktür. (Newton'ın kuramının Einstein'ınkine göre büyük bir üstünlüğü de çok daha basit oluşudur!)

Bilimin sonuçta amacı, tüm evreni açıklayan tek bir kuram ortaya koymaktır. Bununla birlikte çoğu bilimcinin izlediği yol, sorunu ikiye bölmektir. Birincisi, bize evrenin zamanla nasıl değiştiğini anlatan yasalardır. (Evrenin herhangi bir zamanda ne durumda olduğunu biliyorsak, bu fizik yasaları bize onun daha sonraki bir zamanda nasıl olacağını söyler.) İkincisi, evrenin ilk durumunun ne olduğu sorusudur. Bazılarına göre bilim yalnızca birinci bölümle uğraşmalıdır; bunlar ilk durum sorusunu fizikötesi ya da dinin konusu sayarlar. Bu kişilere göre Tanrı, her şeye gücü yeten olarak evreni dilediği gibi başlatmış olabilir. Öyleyse Tanrı, evreni yine isteğine bağlı biçimde geliştirebilirdi. Gerçekte görünen o ki, evreni, belli yasalara uyarak düzenli bir biçimde geliştirmeyi seçmiş. Şu halde ilk durumu yöneten yasaların da olduğunu varsaymak eşit ölçüde akla uygun olacaktır.

Evreni bir oturuşta açıklayacak bir kuram ortaya koymanın, çok zorlu bir uğraş olduğu açık. Bunun yerine, problemi parçalara bölüp birden çok kısmi kuram geliştiriyoruz. Bu kısmi kuramların her biri, belli sınırlı gözlemler topluluğunu açıklarken ya da kestirimlerde bulunurken, başka niceliklerin etkilerini ya yok sayıyor ya da birtakım sayılara indirgiyor. Bu yaklaşım tümüyle yanlış olabilir. Evrendeki her bir şey başka her şeye temelde bağlı ise, problemin birbirinden yalıtılmış bölümlerini inceleyerek tam çözüme ulaşmak olanaksız olabilir. Bununla birlikte, geçmişte bu yöntemle

kuşkusuz epey gelişme kaydettik. Klasik örnek yine, iki cisim arasındaki çekim kuvvetinin, cisimlerin neden yapıldıklarından bağımsız olarak, salt kütleleriyle doğru orantılı olduğunu söyleyen Newton'ın çekim yasasıdır. Böylece, güneşin ve gezegenlerin yörüngelerini hesaplamak için, yapıları ve içeriklerine ilişkin kuramlara gerek kalmaz.

Bugün bilimciler, evreni iki temel kısmi kuramla betimliyorlar -genel görelik kuramı ve tanecik mekaniği. Her ikisi de bu yüzyılın ilk yarısının büyük düşünsel başarılarıdır. Genel görelik kuramı kütlesel çekim kuvvetini ve evrenin büyük ölçekteki yapısını -yani birkaç kilometre kadar küçükten başlayıp evrenin gözlemlenebilir sınırı olan milyon kere milyon (1'den sonra yirmidört sıfır) kilometre kadar büyüğe uzanan yapısını- anlatır. Tanecik mekaniği ise bir santimetrenin bin milyarda biri kadar küçük ölçekteki olaylarla uğraşır. Ne yazık ki, bu iki kuramın birbiriyle çeliştikleri bilinmektedir, yani her ikisi de doğru olamaz. Günümüz fiziğinin zor görevlerinden biri ve bu kitabın ana konusu, her iki kuramı da içine alacak bir yeni kuram "çekimin tanecik kuramı" arayışıdır. Şu anda böyle bir kurama sahip değiliz ve ondan hâlâ çok uzakta olabiliriz ama kuramın taşıması gereken özelliklerden çoğunu şimdiden biliyoruz. Ayrıca, daha sonraki bölümlerde göreceğimiz gibi, çekimin tanecik kuramının yapması gereken kestirimlere ilişkin epeyce bilgimiz var.

Eğer evrenin isteğe bağlı olmadığına, ama belirli yasalarla yönetildiğine inanıyorsanız, kısmi kuramları eninde sonunda evrende her şeyi açıklayabilecek eksiksiz tek bir kuramda birleştirmeniz gerekmektedir. Ama böyle eksiksiz bir birleşik kuram arayışının temelinde bir mantığa aykırılık yatmaktadır. Yukarıda ana hatları çizilen bilimsel kurama ilişkin düşünceler, bizim, evreni istediği gibi gözlemleyebilen ve gördüklerinden mantıksal sonuçlar çıkarabilen, özgür ve mantıklı varlıklar olduğumuzu varsaymaktadır. Bu durumda evreni yöneten kurallara her an daha da yaklaşarak ilerleyebileceğimizi varsaymak akla uygundur. Ancak gerçekten eksiksiz bir birleşik kuram varsa olasılıdır ki bizim davranışlarımızı da

belirlemektedir. O halde kuramın kendisi onu arayışımızın sonucunu da belirleyecektir! Öyleyse, elde ettiğimiz verilerden niçin doğru sonuca ulaşacağımızı belirlemiş olsun? Pekala yanlış sonuçlara ulaşmamızı belirlemiş olabilemez mi? Ya da hiçbir sonuç elde edemeyeceğimizi?

Benim bu soruya verebileceğim tek yanıt Darwin'in doğal seçilim ilkesine dayanmaktadır. Kendi kendine üreyen organizmaların bulunduğu herhangi bir toplulukta değişik bireylerin kalıtsal malzemelerinde ve yetiştirilmelerinde farklılıklar olacaktır. Bu ayrımlar bazı bireylerin çevrelerindeki dünyaya ilişkin daha doğru sonuçlar çıkarma ve buna uygun davranmada diğer bireylerden daha yetenekli olacağı anlamına gelir. Bu bireyler yaşam savaşını daha büyük bir olasılıkla kazanıp üreyecekler ve onların davranış kalıpları ve düşünceleri baskın olacaktır. Zeka ve bilimsel buluş dediklerimizin geçmişte, yaşam savaşında üstünlük sağladıkları hiç kuşkusuz doğrudur. Ama bunun hâlâ geçerli olduğu pek açık değil: bilimsel buluşlarımız pekala hepimizi yok edebilir, yok etmese bile, eksiksiz birleşik kurama erişmemiz, yaşamımızı sürdürebilme olasılığımızı pek değiştirmeyebilir. Ama evrenin evriminin belli kurallara uyduğu düşünülürse, doğal seçimin bize bağışladığı akılyürütme yetisinin eksiksiz birleşik kuramı bulmada ve bizi yanlış sonuçlardan uzak tutmada da geçerli olacağını umabiliriz.

Şu anda elimizde bulunan kısmi kuramlar çok uç durumlar dışında doğru kestirmelerde bulunmada yeterli olduklarından, evrenin yüce kuramını araştırma çabalarını, uygulama açısından haklı göstermek zor görünüyor. (Benzer savların bir zamanlar görelik ve tanecik mekaniği kuramlarına karşı da kullanılmış olabileceğini ama bu kuramların bugün bize nükleer enerjiyi ve mikroelektronik devrimini sağlamış olduklarını kaydetmeli!) Gerçekten de, eksiksiz birleşik kuramın bulunması, soyumuzu sürdürmekte yardımcı olmayabilir. Hatta yaşam biçimimizi bile etkilemeyebilir. Ama uygarlığın şafağından bu yana insanoğlu, olayları bağlantısız ve açıklanamaz görmekten hoşlanmamıştır. Dünyasını yöneten düzeni anlamayı şiddetle arzulamıştır. Bugün hâlâ niye burada olduğumuzu

ve nereden geldiğimizi bilmeye özlem duyuyoruz. İnsanlığın bilgi için en derin arzusu, bu sürekli arayışımız için yeterli bir nedendir. Hedefimiz de içinde yaşadığımız evreni en azından eksiksizce betimlemektir.

2
UZAY VE ZAMAN

Kütlelerin devinimine ilişkin bugünkü düşüncelerimiz Galileo ve Newton'a dayanır. Onlardan önce, kütlenin doğal olarak devinimsiz olduğunu ve ancak bir kuvvet ya da dürtü tarafından devinime geçirilebileceğini söyleyen Aristo'ya inanılırdı. Bu düşünceye göre, ağır bir cismin hafif bir cisimden daha hızlı düşmesi gerekirdi, çünkü yere doğru çekimi daha fazla olmalıydı.

Yine Aristo geleneğine göre, evreni yöneten yasalara salt düşünce yoluyla varılabilirdi: gözlem yoluyla doğrulamaya gerek yoktu. Böylece Galileo'ya dek kimse değişik ağırlıktaki cisimlerin gerçekten değişik hızlarda düşüp düşmediğini araştırma zahmetinde bulunmadı. Galileo'nun eğik Pisa kulesinin tepesinden ağırlıklar atarak Aristo'nun inancının yanlışlığını gösterdiği söylenir. Öykünün kuşkusuz yakıştırma olması bir yana, Galileo aslında buna eşdeğer bir şey yaptı: yumuşak bir eğimden değişik ağırlıkta toplar yuvarladı. Olay, ağır cisimlerin düşmesine benzer, ancak topların hızı az olduğundan gözlemlemesi kolaydır. Galileo'nun ölçümleri, ağırlığı ne olursa olsun her cismin aynı hızda hızlandığını gösterdi. Örneğin, her on metrede bir metre alçalan bir eğimde topu bıraktığınızda, bir saniye içinde top yaklaşık saniyede bir metre hızla yuvarlanmakta olur. İki saniye sonra ise saniyede iki metre hızla yuvarlanır, ağırlığı ne olursa olsun. Doğal olarak kurşun ağırlık tüy-

den daha hızlı düşer, ama bunun nedeni tüyü yavaşlatan hava direncidir. Hava direnci az olan iki cismi, örneğin iki kurşun ağırlığı bıraksanız, her ikisi de aynı hızda düşer.

Galileo'nun ölçümlerini Newton, kendi devinim yasalarına temel olarak aldı. Galileo'nun deneylerinde bir cisim eğimden aşağı yuvarlanırken, hep aynı kuvvetin (kendi ağırlığının) etkisindeydi ve bunun sonucu düzenli olarak hızlanmaktaydı. Şu halde kuvvetin asıl etkisi, daha önceleri sanıldığı gibi yalnızca cismi devinime geçirmek değil, cismin hızını değiştirmekti. Bu demekti ki, cisim hiçbir kuvvetin etkisi altında değilse, bir düz çizgi üzerindeki devinimini aynı hızda sürdürmeliydi. Birinci Newton Yasası olarak bilinen bu düşünceyi Newton ilk kez, 1687'de basılan **Matematiğin İlkeleri** adlı kitabında açıkladı. Bu yasaya göre cisim, kuvvet ile doğru orantılı olarak hızını değiştirir, yani ivmelenir. (Örneğin kuvvet iki katına çıkarsa ivme de iki katı büyük olur). Aynı zamanda, cismin kütlesi (yani maddesi) artarsa, ivmesi azalır. (Aynı kuvvet, kütlesi iki katı olan bir cisme kadar ivme verebilir.) Yakından bildiğimiz bir örnek: otomobilin motoru ne kadar güçlüyse o kadar çabuk hızlanır, ama daha ağır bir otomobili aynı motor daha yavaş hızlandırır.

Newton, devinim yasalarına ek olarak kütlesel çekim kuvvetini belirleyen bir yasa buldu: her cisim bir ötekini kütlesiyle doğru orantılı bir kuvvet ile çeker. Buna göre cisimlerden birinin (diyelim A cisminin) kütlesi iki katına çıkarsa, iki cismin arasındaki kuvvet de iki katına çıkar. Bu beklenen bir sonuç, çünkü bu yeni A cismi, kütlesi başlangıçtakine eşit iki cisimden oluşmuş gibi düşünülebilir. Her biri, B cismini başlangıçtaki kuvvetle çeker. Böylece A ile B arasındaki toplam kuvvet başlangıçtakinin iki katı olur ve diyelim ki B cisminin kütlesi de üç kat arttı, o zaman kuvvet başlangıçtakinin altı katına çıkar. Şimdi niye tüm cisimlerin aynı hızda düştüğü anlaşılabilir: ağırlığı iki katı olan cisim iki katı kuvvetli bir çekimle yere doğru çekilir ama kütlesi de iki katı fazladır. İkinci Newton Yasasına göre, bu iki etki birbirini götüreceği için ivme her durumda aynı kalır.

Newton'ın kütlesel çekim yasası ayrıca, cisimler birbirinden uzaklaştıkça çekim kuvvetinin azaldığını söyler. Bu yasaya göre bir yıldızın çekim kuvveti, yarı uzaklıktaki benzeri bir yıldızınkinin dörtte biri kadardır. Bu yasa dünyanın, ayın ve gezegenlerin yörüngelerinin büyük bir doğrulukla hesaplanmasına olanak verir. Eğer yasa böyle olmayıp da yıldızın çekim kuvveti uzaklığı arttıkça daha fazla azalsaydı, gezegenlerin yörüngeleri eliptik olmazdı, gezegenler sarmal bir yörünge çizerek güneşe doğru inişe geçerlerdi. Tam tersine, daha az azalsaydı, uzak yıldızların çekim kuvveti güneşinkine baskın çıkardı.

Aristo'nun düşüncesi ile Galileo ve Newton'ın düşünceleri arasındaki en büyük fark, Aristo'nun, cismi iten bir kuvvet ya da dürtü olmadıkça cismin durağan kalmayı yeğleyeceğine inanmasaydı. Özellikle dünyanın durağan olduğunu düşünüyordu. Oysa Newton'ın yasalarında belirli bir durağanlık, devinimsizlik durumu yoktur. A cismi durağan ve B cismi sabit bir hızla gidiyor denilebileceği gibi, B cismi durağan ve A cismi deviniyor denilebilir. Örneğin, dünyanın kendi etrafında ve güneş çevresinde dönme hareketini bir yana bırakırsak, dünya duruyor ve bir tren kuzey yönünde saatle doksan kilometre hızla gidiyor, ya da tren duruyor ve dünya güneye doğru saatte doksan kilometre hızla gidiyor diyebiliriz. Trenin içinde hareket eden cisimlerle yapılan deneylerde, Newton yasaları geçerliliklerini korurlar. Örneğin trende pingpong oynarken topunuz, rayların kıyısında bir masadaki top gibi Newton'ın yasalarına uyar. O halde tren mi gidiyor yoksa dünya mı bilemezsiniz.

Mutlak durağan bir dayanağın olmayışı nedeniyle, farklı zamanlardaki olayların uzayda aynı yerde oluştuğunu belirlemek olanaksızdır. Örneğin trendeki pinpong topumuz masada zıplayarak aynı noktaya bir saniye ara ile çarpıyor olsun. Tren yolunda durmakta olan bir kişiye göre, top masaya yirmibeşmetre ara ile çarpmaktadır, çünkü bir saniyede tren o kadar yol alır. Şu halde, mutlak bir durağanlık konumu olmayışından ötürü, Aristo'nun sandığı gibi olaylar uzayda mutlak bir konuma bağlanamaz. Olayların ko-

numu ve aralarındaki uzaklık trendeki bir kişiye göre başka, tren yolunda duran bir kişiye göre başkadır ve birinin konumunu ötekine yeğlemek için herhangi bir neden yoktur.

Newton mutlak konumun, ya da o zamanlar anıldığı gibi mutlak uzayın yokluğundan pek kaygılanmıştı, çünkü mutlak bir Tanrı düşüncesiyle bağdaşmıyordu. Gerçekten de Newton, kendi yasalarından çıkan mutlak uzayın yokluğu düşüncesini reddetti. Bu akla uygunsuz inancı yüzünden birçok kişi tarafından ağır eleştirilere uğradı. Bu eleştiriler içinde en dikkate değer olanı, tüm nesnelerin uzayın ve zamanın bir yanılsama olduğuna inan feylesof Psikopos Berkeley'den (Börkli) geldi. Ünlü Dr. Johnson'a (Cansın) Berkeley'nin bu görüşü aktarıldığında, bağırarak, "Ben onu böyle çürütürüm!" dedi ve ayak başparmağını büyük bir taşa çarptı.

Hem Aristo hem de Newton mutlak zamanı kabul etmişlerdi. Yani iki olay arasındaki zaman aralığının kesin olarak ölçülebileceğine ve iyi saatler kullanıldıkça, her kim ölçerse ölçsün bu zamanı aynı bulacağına inanıyorlardı. Zaman uzaydan tümüyle ayrı ve bağımsızdı. Bu görüş çoğunluğun sağduyusuna uygundu. Ancak sonraları uzay ve zamana ilişkin düşüncelerimizi değiştirmek zorunda kaldık. Sağduyusal kavramlar, elma gibi, yavaş devinen gezegenler gibi şeylerle uğraşırken geçerli olsa da, ışık ya da ona yakın hızla devinen şeyler için hiç de geçerli olmuyor.

Işığın sonlu ama çok büyük bir hızla gittiği ilk olarak 1676 yılında Danimarkalı gökbilimci Ole Christensen Roemer (Römer) tarafından bulundu. Uydularının Jüpiter'in gölgesinde kalması olaylarının düzensiz olduğunu gözlemledi Roemer. Demek ki uydular sabit bir hızla dönmüyorlardı. Dünya ve Jüpiter, güneş etrafında yörüngelerini çizerken, aralarındaki uzaklık değişir. Roemer, Jüpiter'in uydu tutulmalarının biz Jüpiter'den uzaktayken daha uzun sürdüğünü farketti. Bunu, uydular bizden uzaklaştıkça ışıklarının, bize erişebilmek için daha uzun zaman almasına bağladı. Ancak, Jüpiterin dünyadan uzaklığındaki değişimleri ölçerken yaptığı hatalar sonucu, bugün saniyede 300.000 km olarak bildiğimiz ışık hızını saniyede 225.000 km olarak hesaplayabildi. Bu hataya rağ-

men, Roemer'in ışığın sonlu hızla gittiğini kanıtlamakla kalmayıp, bu hızı ölçerek elde ettiği başarı olağanüstüydü- hele bunu Newton'ın **Matematiğin İlkeleri** kitabının yayınlanmasından on yıl önce sağlamış olduğu gözönüne alınırsa.

Işığın yayılmasını açıklayan yerinde bir kuram, ancak 1865'te Britanyalı fizikçi James Clerk Maxwell'in (Maksvel) o güne dek elektrik ve manyetik kuvvetleri tanımlayan parça parça kuramları birleştirmeyi başarmasıyla ortaya çıktı. Maxwell'in denklemlerine göre birleşik elektromanyetik alanda dalgaya benzer çırpıntılar olabilir ve bunlar durgun suda yayılan halkalar gibi sabit bir hızla yayılabilirdi. Bu dalgaların dalgaboyu (iki dalga tepesi arasındaki uzaklık) bir metreden uzun olanlarına bugün radyo dalgaları diyoruz. Daha kısa olanları mikrodalgalar (birkaç santimetre) ya da kızılötesi ışınlar (santimetrenin binde biri) olarak bilinir. Görünen ışığın dalgaboyu yalnızca santimetrenin 40 milyonda biri ile 80 milyonda biri arasında değişir. Daha kısa dalgaboylular ise morötesi ışınlar, röntgen ve gama ışınlarıdır.

Maxwell'in kuramı radyo ve ışık dalgalarının belli bir sabit hızla yol aldığına varıyordu. Ama Newton'ın kuramı mutlak durağanlık düşüncesini ortadan kaldırdığına göre, ışık sabit bir hızla yol alıyorsa, bu hız neye göre ölçülüyor sorusunu yanıtlamak gerekiyordu. O halde her yerde, hatta "boş" uzayda bile bulunan "eser" denilen bir şeyin varlığı öne sürüldü. Işık dalgaları, ses dalgalarının havada yayılması gibi, eserde yayılıyor olmalıydı, o halde hızı da esere göre ölçülebilirdi. Esere göre değişik hızlarda devinen gözlemciler, ışığın kendilerine değişik hızlarda geldiğini görecekler, ama ışığın esere göre hızı değişmeyebilecekti. Özellikle, dünya güneş etrafındaki yörüngesinde eser içinde ilerlerken, dünyanın devinimi yönünde (biz ışık kaynağına yaklaşırken) ölçtüğümüz ışık hızı, bu devinime dik açılardan (kaynağa göre durağanken) ölçtüğümüz ışık hızından daha fazla olmalıydı. 1887'de Albert Michelson (Maykılsın) (ki daha sonra fizik dalında Nobel ödülü kazanan ilk Amerikalı oldu) ve Edward Morley (Morli), Cleveland Case Uygulamalı Bilimler Okulu'nda büyük bir dikkatle şu deneyi

yaptılar: Işığın dünyanın devinimi yönündeki hızıyla, bu devinime dik açılardaki hızını karşılaştırdılar. Büyük bir şaşkınlıkla ölçümlerin tıpatıp aynı olduğunu gördüler.

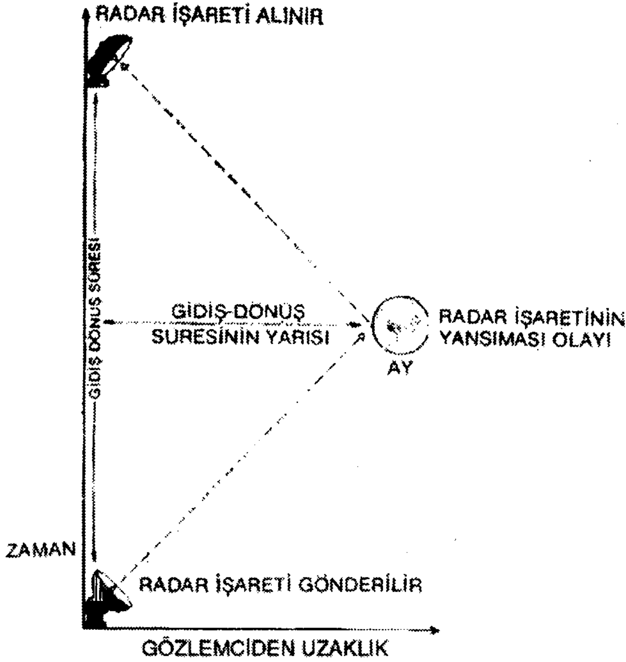
1887 ve 1905 yılları arasında, Hollandalı fizikçi Hendrik Lorentz (Lorenz) başta olmak üzere birçok kişi Michelson-Morley deneyinin sonucunu, eserde devinirken kısalan cisimler ve geri kalan saatlerle açıklama girişiminde bulundu. Ama, 1905 tarihli ünlü makalesinde, o zamana dek İsviçre Patent Bürosu'nda isimsiz bir memur olan Albert Einstein (Aynştayn), eser kavramının tümüyle gereksiz olduğuna işaret etti, ama mutlak zaman kavramından vazgeçilmesi ön koşuluyla. Benzer bir tez birkaç hafta sonra önde gelen bir Fransız matematikçisi Henri Poincaré (Puvankare) tarafından ileri sürüldü. Einstein'ın savları fiziğe, bu soruna salt matematik açısından yaklaşan Poincaré'ninkinden daha yakındı. Bu yeni kuramı bulma şerefi çoğunlukta Einstein'a verilir ama Poincaréde bu kuramdan söz edilirken isminin önemli bir ölçüde geçmesiyle anılır.

Görelik kuramı olarak bilinen bu teorinin temel önermesi, hızı ne olursa olsun, özgürce hareket eden her gözlemciye göre bilim yasalarının aynı oluşuydu. Bu düşünce, Newton'ın devinim yasaları içinde de geçerliydi ama şimdi kapsamı genişlemiş oluyordu. Maxwell'in kuramını ve ışık hızını da içine alarak: ne hızla giderse gitsinler tüm gözlemciler ışığın hızını aynı ölçmeliydiler. Bu basit görünen düşüncenin olağanüstü sonuçları vardır. Herhalde en çok bilinenleri, Einstein'ın ünlü denklemi $E=mc^2$ (E enerji, m kütle ve c ışık hızı olmak üzere) ile özetlenen kütle-enerji eşdeğerliği ve hiçbir şeyin ışıktan hızlı gidemeyeceğini belirten yasadır. Enerji ve kütlenin eşdeğerliği nedeniyle, deviniminden ötürü enerji kazanan bir nesnenin kütlesi artar. Bir deyişle, hızını artırmak zorlaşır. Bu etki ancak ışık hızına yakın hızlarda devinen nesnelerde kendini gösterir. Örneğin ışık hızının onda birinde giden bir nesnenin kütlesi durağan haldekinden ancak yüzde yarım fazaldır, oysa ışık hızının onda dokuzu ile giderkenki kütlesi durağan haldekinin iki katından bile fazladır. Bir nesnenin hızı ışık hızına yaklaştıkça kütlesi de o denli artar ki, hızını bir dirhem daha artırabilmek için bü-

yük enerji gerekir. Işık hızına ise hiçbir zaman erişemez, çünkü ışık hızında kütlesinin sonsuz olması gerekir ve kütle-enerji eşdeğerliğine göre buna erişmesi için de sonsuz enerji almış olmalıdır. Bu nedenle sıradan bir nesne, görelik kuramına göre, ışıktan daha yavaş gitmeye mahkum edilmiştir sonsuza dek. Ancak ışık, ya da gerçek kütlesi olmayan benzeri dalgalar, ışık hızında gidebilir.

Göreliğin yine olağanüstü bir başka sonucu, uzay ve zaman kavramlarımızı kökten değiştirmesidir. Newton kuramında, bir ışık darbesi bir yerden ötekine gönderildiğinde, değişik gözlemciler (zaman mutlak olduğundan) bu yolculuğun süresinde birleşirler, ama (uzay mutlak olmadığından) ışığın ne kadar yol aldığında ayrılabilirler. Işığın hızı, aldığı yolun süreye bölümüne eşit olduğu değişik gözlemciler ışık hızı için değişik sayılar bulacaklardır. Öte yandan, görelik kuramında, tüm gözlemciler ışık hızını aynı ölçmek **zorundadırlar.** Ama önceki gibi ışığın gittiği uzaklık üzerinde anlaşamadıkları için, şimdi ne kadar süre aldığında da ayrılacaklardır. (Öyle ya, yolculuğun süresi, ışığın hızı -ki gözlemciler aynı olduğunda birleşiyorlar- çarpı gittiği uzaklığa -ki farklı ölçüyorlar- eşittir.) Bir başka deyişle, görelik kuramı mutlak zamanın kavramının çanına ot tıkamış oluyor! Öyle görünüyor ki, her gözlemcinin, yanında taşıdığı saatle ölçtüğü bir zaman ölçüsü var, ve farklı gözlemcilerin taşıdığı tıpatıp aynı saatler uyuşmayabilir.

Her gözlemci bir olayın oluş zamanını ve yerini bir radarla ışık ya da radyo dalgaları darbesi göndererek ölçebilir. Darbenin bir miktarı olaya çarparak geriye yansır ve gözlemci bu yankıyı aldığı zamanı kaydeder. Olayın oluş anı, darbenin gönderilmesiyle yankının alınmasının tam ortasında bir andır; olayın uzaklığı ise darbenin gidiş-dönüş süresinde yarısı çarpı ışık hızıdır diyebiliriz. (Bu anlamda bir olay, uzayda tek bir noktada ve zaman içinde bir anda gerçekleşen bir şeydir.) Bu düşünce, Şekil 2.1'deki uzay-zaman çizgisinde gösteriliyor. Yukarıdaki işlem sonucu birbirine göre hareket eden gözlemciler, aynı olay için farklı zaman ve konumlar saptayacaklardır. Herhangi bir gözlemcinin ölçümü öbürlerininkinden daha doğru değildir, ancak tüm ölçümler birbirine bağlıdır. Bir



Şekil 2.1. Düşey eksen zamanı, yatay eksen ise gözlemciden olan uzaklığı gösterir. Gözlemcinin uzay ve zamanda izlediği yol, soldaki düşey çizgiyle gösteriliyor. Kesik çizgiler, olaya giden ve olaydan gelen ışık ışınlarıdır.

gözlemci, diğerinin bağıl hızını bildikten sonra, onun bir olayı zaman ve konum açısından nasıl saptadığını kesinlikle hesaplayabilir.

Bugün bu yöntemle uzaklıkları eskisinden daha büyük bir duyarlıkla ölçebiliyoruz, çünkü zamanı daha doğru ölçebilmek olanaklı. Gerçekten de şimdi bir metre, ışığın, sezyumlu bir saat ile ölçülmek üzere 0,000000003335640952 saniyede aldığı yol olarak tanımlanıyor. (Bu tuhaf sayının nedeni, metrenin tarihsel tanımına -yani Paris'te saklanan belli bir platin çubuğun üzerindeki iki çentiğin arasındaki uzaklığa denk düşmesi.) İstersek daha uygun bir uzaklık birimi, ışık saniyesini kullanabiliriz. Bu birim, ışığın bir saniyede katettiği yol olarak kolayca tanımlanır. Görelik kuramından sonra uzaklığı zaman ve ışık hızı ile tanımladığımızdan, ışık hızını

her gözlemcinin aynı ölçeği (tanıma göre 0,0000000003335640952 saniyede bir metre) kendiliğinden izler. Michelson-Morley deneyinin de gösterdiği gibi, varlığı sezilemeyen bir eser kavramına gerek kalmaz. Ancak görelik kuramı, uzay ve zaman kavramlarımızı temelden değiştirmeye zorluyor bizi. Zamanının uzaydan tümüyle ayrı ve bağımsız olmadığını, fakat onunla birlikte uzay-zaman denilen bir nesneyi oluşturduğunu kabul etmemiz gerekiyor.

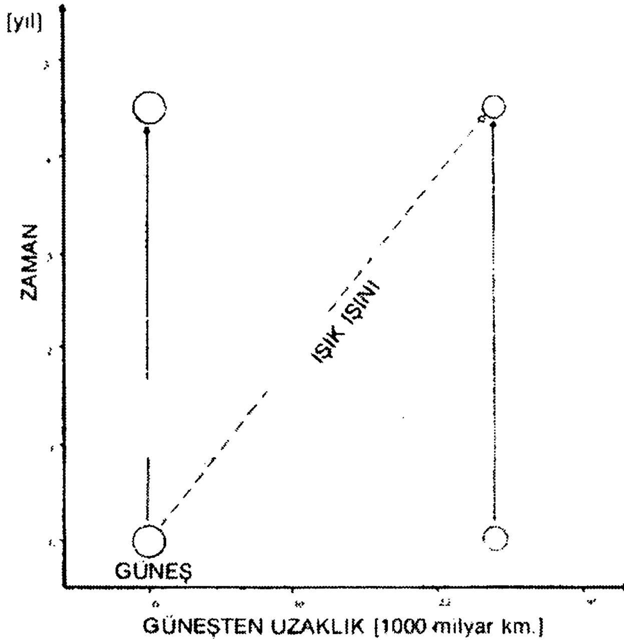
Bir noktanın uzaydaki konumunun koordinat denilen üç sayı ile tanımlanabileceği eskiden beri bilinir. Örneğin bir oda içindeki bir nokta için, bir duvardan iki metre uzakta, öbür duvardan bir metre uzakta, döşemeden yarım metre yukarıda diyebiliriz. Ya da, bir noktanın enlemi ve boylamını ve deniz düzeyinden yüksekliğini belirtebiliriz. İsteğimize uygun herhangi üç koordinatı kullanmakta özgürüz, ama bunların geçerliliği sınırlı olabilir. Ayın konumunu, onun Piccadilly Alanı'ndan kuzey ve batı yönlerinde çizilen doğrulara kilometre olarak uzaklığı ve denizden metre olarak yüksekliği cinsinden belirtmenin anlamı yoktur. Bunun yerine güneşe olan uzaklığı, gezegenlerin yörünge düzlemine uzaklığı ve ay ve güneşi bağlayan çizgiyle güneş ve yakındaki bir yıldızı, örneğin Alpha Centauri'yi bağlayan çizginin arasındaki açıya olan uzaklığı cinsinden belirtebiliriz. Bu koordinatlar bile güneşin yıldız kümemizdeki konumunu ya da yakındaki kümeler içinde bizim kümemizin konumunu belirtmeye pek yaramazlar. Aslında, tüm evren yama gibi üst üste binen parçalar topluluğu olarak tanımlanabilir. Her parçada da, bir noktanın konumunu saptamak için bir üçlü koordinat takımı kullanılabilir.

Bir olay, uzayda belli bir zaman ve belli bir noktada olan bir şeydir dersek, onu dört sayı, yani dört koordinat ile belirtebiliriz. Koordinatların seçiminde yine özgürüz; bellediğimiz herhangi üç adet uzay koordinatı ile herhangi bir zaman ölçüsünü kullanabiliriz. Görelikte, uzay ve zaman koordinatları arasında gerçek bir ayrım yoktur, herhangi iki uzay koordinatı arasında gerçek bir ayrım olmadığı gibi. Ayrıca, öyle bir yeni koordinat takımı seçebiliriz ki, bu takımın birinci uzay koordinatı, öncekinin birinci ve ikinci uzay

koordinatlarının bir bileşimi olabilir. Örneğin, yeryüzündeki bir noktanın konumunu, Piccadilly'den kuzey ve batı yönlerinde çizilen doğrulara kilometre olarak uzaklığı ile saptamak yerine, kuzeydoğu ve kuzeybatı yönlerindeki doğrulara uzaklığı ile saptayabiliriz. Benzer biçimde, görelikte de, önceki zaman koordinatı (saniye cinsinden) ve Piccadilly'den kuzey yönündeki doğruya olan uzaklık (ışıksaniyesi cinsinden) koordinatının toplamı olan yeni bir zaman koordinatı kullanılabilir.

Bir olayın dört koordinatını, uzay-zaman denilen dört boyutlu bir uzayda o olayın konumunu belirtiyor olarak ele almak yararlıdır. Ancak dört boyutlu bir uzayı kafada canlandırmak olanaksızdır. Şahsen ben üç boyutlu bir uzayı bile gözönüne getirmekte fevkalade zorluk çekiyorum! Ama yeryüzü gibi iki boyutlu uzayları (yüzeyleri) kağıt üzerinde çizmek kolaydır. (Dünyanın yüzeyi iki boyutludur, çünkü üzerindeki herhangi bir noktayı iki koordinatını, enlemini ve boylamını vererek belirleyebiliriz.) Ben de genellikle zamanın yukarı doğru ilerlediği ve uzaysal boyutlardan birinin yatay olarak gösterildiği şekiller kullanacağım. Öbür iki uzay koordinatı ya konu dışı olacak ya da onlardan birini perspektif olarak vereceğim. (Şekil. 2.1 gibi şekillere, uzay-zaman çizgesi denir.) Örneğin Şekil 2.2'de zaman yukarı doğru yıllarla, uzaklık ise yatay olarak, güneşten Alpha Centauri'ye çizilen doğru üzerinde kilometrelerle ölçülmekte. Güneş ve Alpha Centauri'nin uzay-zaman içindeki yolları, çizgenin solunda ve sağındaki düşey çizgilerle gösterilmekte. Güneşten çıkan bir ışık ışını köşegen bir yol izleyerek dört yılda Alpha Centauri'ye varır.

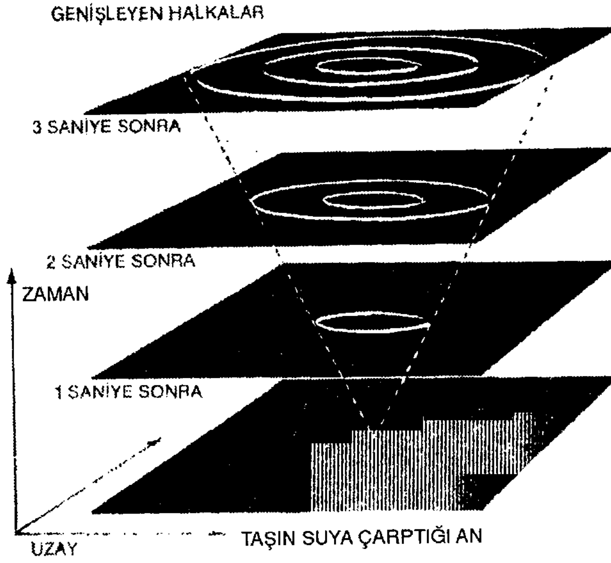
Daha önce gördüğümüz gibi, Maxwell'in denklemleri kaynağın hızı ne olursa olsun ışığın hızının aynı olacağını öngörmüştü ve bu, duyarlı ölçümlerle doğrulanmıştı. Buradan şu çıkarsama yapılabilir: uzayda bir noktadan belli bir anda bir ışık darbesi yayınlandığında, zaman geçtikçe bu darbe, büyüklüğü ve konumu kaynağın hızından bağımsız bir ışık küresi biçiminde yayılır. Milyonda bir saniye sonra ışık, 300 metre yarıçaplı bir küre oluşturacak biçimde yayılmış olur; milyonda iki saniye sonra yarıçap 600 met-



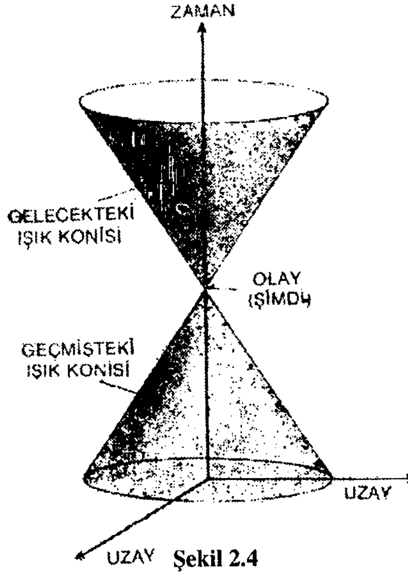
Şekil 2.2

reye çıkar ve böylece sürer gider. İçine bir taş atılmış durgun suyun yüzündeki genişleyen halkalar gibi, küreler de zamanla büyürler. Durgun suyun iki boyutlu yüzeyi ve bir zaman boyutunun oluşturduğu üç boyutlu model gözönüne getirilirse, genişleyerek ilerleyen halkalar, zirvesi taşın suya düştüğü nokta olan bir koninin yüzeyini çizerler (Şekil 2.3). Benzer biçimde, bir olaydan yayılan ışık, dört boyutlu uzay-zamanda üç boyutlu bir koni oluşturur. Bu koniye, o olayın **gelecekteki ışık konisi** denir. Aynı şekilde **geçmişteki ışık konisi** denilen öteki koniyi de çizebiliriz. (Şekil 2.4). Bu koni ise o olaya ışığı erişebilen geçmişteki olayları tanımlar.

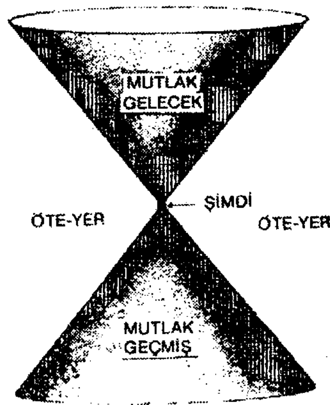
P olayının geçmişteki ve gelecekteki ışık konileri uzay-zamanı üç bölgeye ayırır (Şekil 2.5). Olayın mutlak geleceği, P'nin gelecekteki ışık konisi içindeki bölgedir. Mutlak gelecek, P'deki olay-



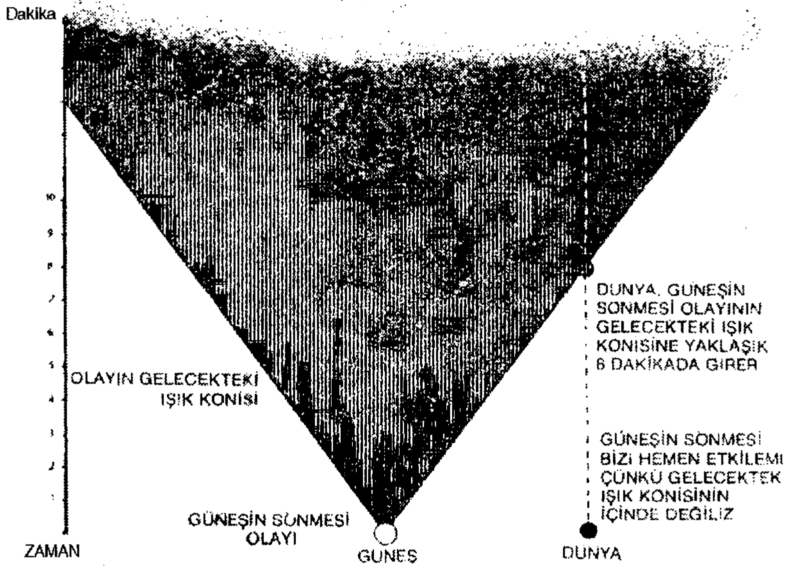
Şekil 2.3



Şekil 2.4



Şekil 2.5

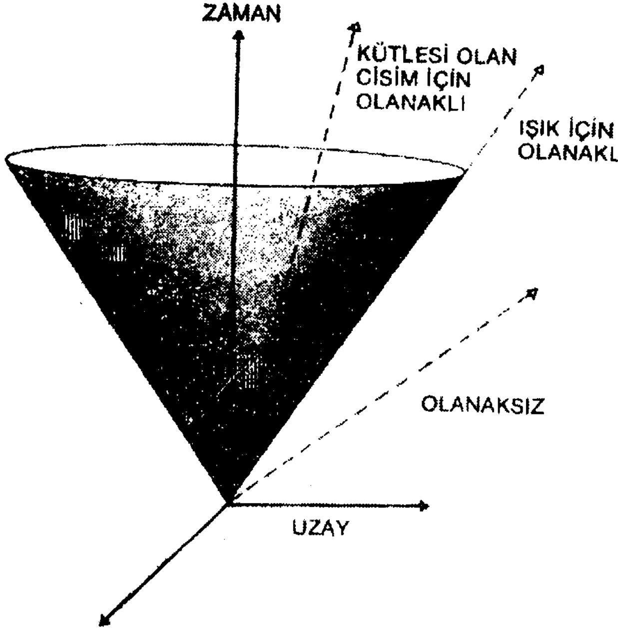


Şekil 2.6

dan etkilenmesi olanaklı tüm olayları içerir. P'nin ışık konisinin dışındaki olaylara, P'den gönderien işaretler erişemez, çünkü hiçbir şey ışıktan hızlı gidemez. O halde P'de olup biten, dışarıdaki olayların umurunda bile değildir. P'nin mutlak geçmişi ise geçmişteki ışık konisi içinde kalan bölgedir. Bu da, ışık hızıyla ya da daha yavaş giden işaretleri P'ye ulaşabilen tüm olayları içerir. O halde P'deki olayı etkileyebilecek tüm olaylardır P'nin mutlak geçmişi. Belli bir anda, P'nin geçmişteki ışık konisi uzay bölgesinin her yerinde olup bitenler bilinirse P'de olacak olay önceden bilinebilir. P'nin geçmişteki ve gelecekteki ışık konisi içinde bulunmayan uzay-zaman bölgesine "öteyer" denir. Öteyer'deki olaylar P'deki olaydan ne etkilenirler, ne de onu etkilerler. Örneğin tam şu anda güneş sönüverse, şu anda dünyada olup bitenler bundan hiç etkilenmezlerdi, çünkü güneşin sönmesi olayının öteyerinde bulunacaklardı (Şekil 2.6). Bu olaydan, ancak güneşten bize ışığın erişmesi için gereken sekiz dakikanın sonunda haberimiz olacaktı. Çünkü o zaman dünyadaki olaylar, güneşin sönmesi olayının gelecekteki ışık konisi içine gireceklerdi. Benzeri biçimde, şu anda evrendeki uzak yerlerde ne olduğunu bilemiyoruz: görebildiğimiz uzak yıldız kümelerinden bize gelen ışık onları terkedeli milyonlarca yıl oldu. Görebildiğimiz en uzak nesneden gelen ışık yola çıkalı neredeyse sekiz milyar yıl geçti. Yani evrene baktığımızda onun geçmişteki durumunu görmekteyiz.

1905'te Einstein ve Poincaré'nin yapmış oldukları gibi, kütlelerin birbirini çekmesi olayı konu dışı bırakıldığında, "özel görelik kuramı"na varırız. Uzay-zamandaki her olay için bir ışık konisi (olaydan çıkan ışığın-zaman içinde olanaklı tüm yollarının toplamı) çizebiliriz. Işığın hızı her olayda ve her yönde aynı olduğu için, ışık konilerinin hepsi aynı biçimde ve aynı yönde olacaktır. Bu kuram ayrıca hiçbir şeyin hızlı gidemeyeceğini söylüyor. Bu demektir ki, herhangi bir nesnenin uzay ve zaman içinde aldığı yol, üzerinde olan her olayın ışık konisi içinde bir doğru ile gösterilmelidir (Şekil 2.7).

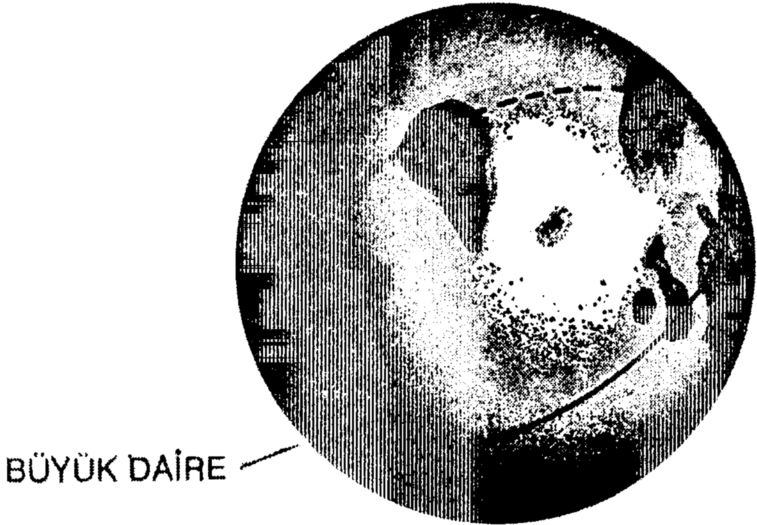
Özel görelik kuramı, ışık hızının her gözlemciye göre aynı gözükmesini (Michelson-Morley deneyi ile kanıtlandığı gibi) ve ışık hızına yakın bir hızla seyreden şeylere ne olduğunu açıklamada çok başarılıydı. Ama nesnelerin birbirlerini aralarındaki uzaklığa bağlı olarak çektiklerini söyleyen Newtoncı çekim kuramı ile bağdaşmıyordu. Buna göre, nesnelerden biri harekete geçirildiğinde, öteki üzerindeki kuvvet anında değişirdi. Ya da bir başka deyişle, çekimin etkisi, özel görelik kuramının gerektirdiği gibi ışık hızıyla ya da daha yavaş değil de sonsuz hızda yol almalıydı. Einstein 1908 ve 1914 yılları arasında özel görelikle tutarlı bir çekim kuramı bulmak için birkaç başarısız girişimde bulundu. Sonunda 1915'te bugün genel görelik kuramı dediğimiz düşünceyi ortaya attı.



Şekil 2.7

Einstein şu devrimci öneride bulundu: kütlesel çekim, öbür kuvvetler gibi bir kuvvet değildi ve aslında uzay-zamanın o güne

dek sanıldığı gibi düz olmayıp da içindeki kütle ve enerjinin dağılımından dolayı eğri, ya da "çarpık" olmasının sonucuydu. Dünya gibi cisimler kütlesel çekim denilen kuvvetin etkisi altında eğri yörüngeler çizmek durumunda kalmak yerine, aslında eğri uzayda doğruya en yakın, jeodezik denilen bir yol izlerler. Jeodezik iki komşu nokta arasındaki en kısa (ya da en uzun) yoldur. Örneğin, yeryüzü iki boyutlu bir eğri uzaydır. Dünya yüzünde jeodeziğe büyük daire denir ve iki nokta arasındaki en kısa yoldur. (Şekil 2.8). Jeodezik iki havalimanı arasında en kısa rota olduğundan, havayolu uçuş görevlisi pilotun bu rotada uçmasını sağlar. Genel göreliğe göre cisimler dört boyutlu uzay-zamanda her zaman doğru çizgiler üzerinde gitmelerine karşın, üç boyutlu uzayımızda bize eğriler çiziyorlarmış gibi görünür. (Bu, tepeli bir arazi üzerinde uçan uçağı izlemek gibidir. Uçak üç boyutlu uzayda düz bir çizgi izlediği halde, iki boyutlu yeryüzüne düşen gölgesi eğri büğrü bir yol izler.)

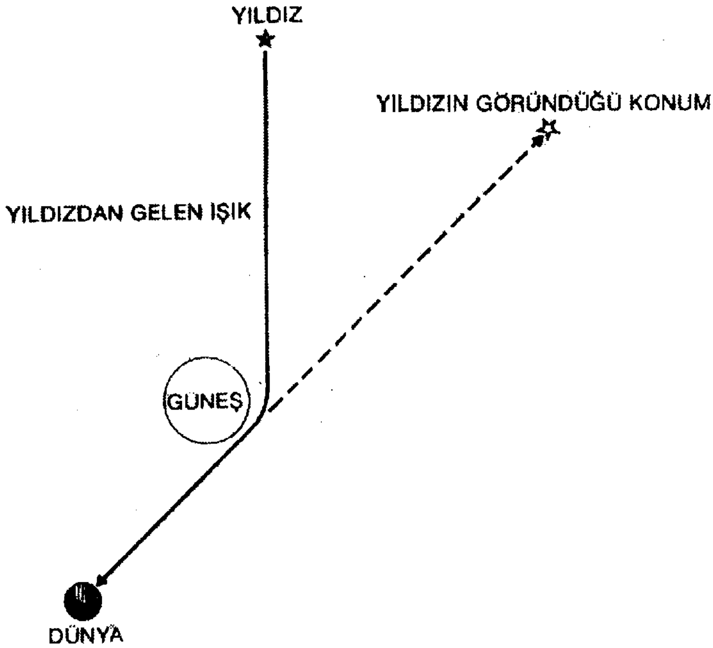


Şekil 2.8

Güneşin kütlesi uzay-zamanı öyle bir biçimde büker ki, dünya dört boyutlu uzay-zamanda düz bir yörünge izlemesine karşın, bize üç boyutlu uzayda dairesel bir yörünge üzerinde gidiyormuş gibi gözükür. Gerçekten de, gezegenlerin genel göreliğe dayanarak hesaplanan yörüngeleri Newtoncı çekim kuramına göre hesaplananların hemen hemen aynısıdır. Ancak güneşe en yakın gezegen Merkür, güneşin çekiminden en çok etkilendiği ve oldukça çekik bir yörüngeye sahip olduğu için, genel görelik hesaplarına göre elips yörüngesinin uzun ekseni, güneş merkezine göre yaklaşık on bin yılda bir derece dönüyor olmalıdır. Bu küçücük etki 1915'ten önce de gözlenmiş olup, Einstein'ın kuramını gözlemle doğrulayan ilk sonuçlardan biridir. Son yıllarda radar ile öbür gezegenlerin yörüngelerinde de, Newtoncı hesaplamalardan küçük küçük sapmalar ölçülmüş ve bunlar genel göreliğin hesaplarına uygun bulunmuştur.

Işık ışınları da uzay-zamanda jeodezikleri izlemek zorundadır. Yine, uzay eğridir demek, ışık uzayda bir doğru izler gibi görünmeyecek demektir. O halde genel görelik, ışığın çekim alanlarınca büküleceğini öngörür. Örneğin, bu kuram uyarınca, güneşin yakınındaki noktaların ışık konileri, güneşin kütlesinin etkisiyle güneşe doğru hafifçe bükülmelidir. Bu demektir ki uzak bir yıldızdan gelen ışık güneşin yakınından geçerken küçük bir açıyla sapacak ve dünyadaki bir gözlemciye göre yıldızın başka bir konumda görünmesine neden olacaktır (Şekil 2.9). Doğal olarak, yıldızın ışığı her zaman güneşin yakınından geçiyorsa ışık sapıyor mu yoksa yıldız gerçekten gördüğümüz yerde mi, anlamamız olanaksızdır. Ama dünya güneş etrafında dönerken, değişik yıldızlar güneşin arkasından dolanıyor gibi gözükürler ve ışıkları sapmaya uğrar. O halde gökyüzündeki konumları öbür yıldızlara göre değişiyormuş gibi görünür.

Bu etkiyi gözlemek olağanüstü zordur, çünkü güneşin parlaklığı, gökyüzünde güneşe yakın yıldızları gözlemeyi olanaksızlaştırır. Ancak, güneş tutulması sırasında güneşin ışığını ay engellediğinde gözlem olanaklıdır. Einstein'ın ışığın sapması öngörüsü hemen



Şekil 2.9

1915'te sınanmadı, çünkü Birinci Dünya Savaşı sürmekteydi. Ancak 1919'da bir İngiliz araştırma grubu Batı Afrika'da güneş tutulmasını gözleyerek ışığın, kuramın öngördüğü gibi, gerçekten güneş tarafından saptırıldığını gösterebildi. Bir Alman kuramının Britanyalı bilginlerce kanıtlanması, savaş sonrası iki ülke için büyük bir uzlaşma çabası olarak övüldü. Ne tuhaftır ki, keşif sırasında çekilen fotoğrafların sonradan incelenmesi sonucu, yapılan hataların, ölçmek istenilen etki kadar büyük olduğu anlaşıldı. Ölçümler ya büyük bir şans eseri denk gelmişti, ya da bilimde zaman zaman rastlanan bir "varılacak sonucun önceden bilinmesi" olayı idi. Neyse ki ışığın sapması olayı, daha sonra çok sayıda gözlemlerle kusursuz bir biçimde doğrulandı.

Genel göreliğin bir başka öngörüsü de, dünya gibi büyük bir kütle yakınında zamanın daha yavaş geçer gibi gözükeceğiydi. Bu-

nun nedeni ışığın enerjisi ve frekansı (yani saniyedeki ışık dalgalarının sayısı) arasındaki bağıntıdır: enerji arttıkça, frekans da yükselir. Işık dünyanın çekim alanından uzaklaştıkça, enerji yitirir ve frekansı azalır. (Bu demektir ki, bir dalga tepesinden ötekine olan uzaklık artar.) Yukardan bakan birine göre, aşağıdaki olaylar daha yavaş gelişmektedir. Bu öngörü 1962'de bir su kulesinin tepesine ve dibine yerleştirilen çok duyarlı saatler aracılığıyla sınandı. Yeryüzüne daha yakın olan kulenin dibindeki saatin, genel göreliğe tam bir uygunlulukla geri kaldığı görüldü. Yeryüzünden değişik uzaklıklarda bulunan saatlerin hızlarındaki ayrılık, uydulardan gelen işaretlere dayalı çok duyarlı seyir sistemlerinin ortaya çıkmasıyla, bugün büyük bir pratik önem taşımaktadır. Genel göreliğin öngörüleri dikkate alınmadan hesaplanan rotada kilometrelerce hata yapılmış olabilir.

Newton'ın devinim yasaları uzayda mutlak konum düşüncesine son verdi. Görelik kuramı ise mutlak zamanı çöpe attı. Bir çift ikiz düşünelim. Diyelim ki ikizlerden biri dağın tepesinde yaşasın, ötekisi deniz düzeyinde. İlk ikiz ikincisinden daha çabuk yaşlanacaktır, yani yeniden karşılaştıklarında, öbüründen daha yaşlı olacaktır. Bu örnekte yaş farkı çok az olur, ama ikizlerden biri ışık hızına yakın hızdaki bir uzay gemisiyle uzun bir yolculuğa çıksa bu fark çok daha büyük olabilir. Döndüğünde, Dünya'da kalan ikizinden çok daha genç olduğu görülür. Bu, ikizler paradoksu olarak bilinir, ama insan, kafasından mutlak zaman düşüncesini atarsa bu paradoks ortadan kalkar. Görelik kuramında biricik bir mutlak zaman yoktur, bunun yerine herkesin, nerede olduğuna ve nasıl devindiğine bağlı olarak işleyen kendi özel zaman ölçüsü vardır.

1915'ten önce uzay ve zaman, olayların olup bittiği, ama içinde olanlardan etkilenmeyen değişmez bir arenaydı. Bu, özel görelik kuramı için de doğruydu. Cisimler deviniyor, kuvvetler itiyor ve çekiyor fakat zaman ve uzay bunlardan hiç etkilenmeden sürüp gidiyordu. Zamanın ve uzayın sonsuz geçmişten sonsuz geleceğe sürüp gittiğini düşünmek doğaldı.

Oysa genel görelik kuramında durum oldukça değişiktir. Uzay

ve zaman artık değişime açık niceliklerdir: bir cisim devinince ya da bir kuvvet etkisini gösterince uzayın ve zamanın eğriliği değişir. Öte yandan, uzay-zamanın yapısı cisimlerin devinimini ve kuvvetlerin işleyişini etkiler. Uzay ve zaman bu etkileme ile kalmayıp evrende olup biten her şeyden de etkilenir. Uzay ve zaman kavramları olmadan nasıl evrendeki olaylardan söz edemiyorsak, genel görelikte de, evrenin sınırları dışında bir uzay ve zamandan söz etmek anlamsızdır.

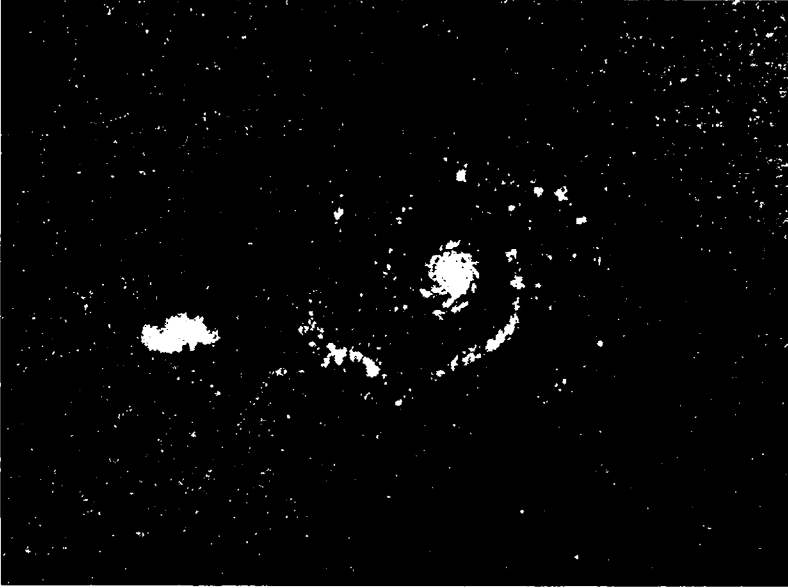
Daha sonraki onyıllarda, bu yeni uzay ve zaman anlaşıyı evrene ilişkin görüşümüze kökten değişiklikler getirdi. Temelinde değişmeyen, varolan ve varolmayı sürdürecek olan bir evren görüşü, artık geriye dönmemek üzere yerini dinamik, geçmişte sonlu bir zaman öncesi başlamış ve gelecekte sonlu bir zaman sonra bitebilecek, genişleyen bir evren kavramına bıraktı. Bu devrim gelecek bölümün konusunu oluşturuyor. Yıllar sonra, bu, benim kuramsal fizikteki çalışmamın da başlangıç noktası oldu. Roger Penrose (Peroz) ve ben gösterdik ki, Einstein'ın genel görelik kuramı, evrenin bir başlangıcının olmasını gerektirir ve de olası bir sonunun.

3
GENİŞLEYEN EVREN

Bulutların ve ayın olmadığı bir gecede gökyüzüne baktığınız zaman göreceğiniz en parlak cisimler büyük bir olasılıkla Venüs, Mars, Jüpiter ve Satürn gezegenleri olacaktır. Bir de, güneşe benzeyen ama çok daha uzakta sayısız yıldızlar göreceksiniz. Bu durağan yıldızların bazıları gerçekte, dünya güneş etrafında döndükçe konumlarını birbirlerine göre azıcık değiştiriyormuş gibi görünür, yani aslında hiç de durağan değildir! Bunun nedeni bize göreceli olarak yakın olmalarıdır. Dünya güneş etrafında döndükçe onları daha uzak yıldızların önünde değişik konumlarda görürüz. Ne mutlu bir rastlantıdır ki, böylelikle bu yıldızların bize olan uzaklıklarını doğrudan ölçebiliyoruz: Bize yakınlıkları oranında daha çok deviniyormuş gibi görünürler. En yakın yıldız, Proxima Centauri, dünyadan dört ışıkyılı (ışığın ondan dünyaya ulaşması yaklaşık dört yıl sürüyor) ya da yaklaşık otuzyedi milyon kere milyon kilometre uzaklıktadır. Çıplak gözle görünen diğer yıldızların çoğunun bizden uzaklığı birkaç yüz ışıkyılıdır. Karşılaştıracak olursak bizim güneşimiz topu topu sekiz ışıkdakikası uzaklıktadır! Görülebilen yıldızlar bütün gökyüzüne dağılmış gibidir ama özellikle Samanyolu dediğimiz bir kuşakta yogunlaşmışlardır. 1750 kadar eski tarihlerde bile bazı gökbilimciler Samanyolu görüntüsünün, görülebilen yıldızların çoğunun şimdi sarmal yıldız kümesi dediğimiz

tek bir disk benzeri kümelenme içinde olmasıyla açıklanabileceğini önermekteydiler. Bundan yalnızca birkaç onyıl süren Sir William Herschel (Hörsıl) adında bir gökbilimci, sayısız yıldızın konumlarını ve bize olan uzaklıklarını bıkıp usanmadan kataloglayarak bu düşüncesine destek sağladı. Yine de bunun kesin olarak kabullenilmesi ancak içinde bulunduğumuz yüzyılın başlarına rastlar.

Evrene bugünkü bakış açımız ise ancak Amerikalı gökbilimci Edwin Hubble'ın (Habıl) yıldız kümemizin evrendeki tek galaksi olmadığını gösterdiği 1924 yılında biçimlenmeye başladı. Gerçekten de aralarına uçsuz bucaksız boşluklar bulunan çok sayıda başka yıldız kümeleri vardır. Hubble'ın bunu kanıtlaması için, bizden çok uzak olan ve bu yüzden yakın yıldızlardan farklı biçimde durağanmış gibi görünen bu kümelerin uzaklıklarını ölçmesi gerekiyordu. Yıldız kümelerinin durağanmış gibi görünmesi Hubble'ı ölçüm için dolaylı yöntemler kullanmaya zorladı. Şöyle ki, bir yıldızın görünen parlaklığı iki ögeye dayanır: ne kadar ışık yayınladığı (ışıltısı) ve bizden ne kadar uzak olduğu. Yakın yıldızların görünen parlaklığını ve uzaklığını ölçerek ışıltısını hesaplayabiliriz. Tersinden giderek, diğer kümelerdeki yıldızların ışıltısını biliyorsak, görünen parlaklığını ölçerek uzaklığını çıkartabiliriz. Hubble, bize ölçüm yapabileceğimiz kadar yakın belli bir tür yıldızların her zaman aynı ışıltıda olduklarını kaydetti; şu halde başka bir yıldız kümesinde bu tür yıldızlar bulabilirsek, aynı ışıltıda olduklarını varsayarak o yıldız kümesinin uzaklığı hesaplayabilirdik. Eğer bu işlemi aynı kümeden çok sayıda yıldız üzerinde uygulanıp aynı uzaklığı elde ediyorsak sonuçtan yeterince emin olabiliriz.



Şekil 3.1

Edwin Hubble bu yolla dokuz değişik yıldız kümesinin uzaklığını hesapladı. Bugün biliyoruz ki bizim kümemiz, modern teleskoplarla görülebilen, her biri yüz bin milyon yıldız içeren yüz bin milyon yıldız kümesinden yalnızca bir tanesidir. Şekil 3.1, başka bir yıldız kümesinden bizim kümemize bakan birinin göreceğini düşündüğümüz biçimde bir sarmal yıldız kümesini göstermektedir. Bir uçtan bir uca yaklaşık yüzbin ışıkyılı uzunluğunda ve yavaş yavaş dönen bir yıldız kümesinin içinde yaşamaktayız; sarmal kollarındaki yıldızlar, kümenin özeği etrafında birkaç yüz milyon yılda ancak bir kez dönerler. Bizim güneşimiz sarmal kollardan bir tanesinin iç kenarına yakın, sıradan, orta büyüklükte, sarı renkte bir yıldızdır. Hiç şüphesiz, dünyanın evrenin özeği kabul edildiği Aristo ve Batlamyus zamanından bu yana epey yol katettik!

Yıldızlar o kadar çok uzaktadır ki, bize ancak toplu iğne başı kadar görünürler. Onların büyüklüklerini ve biçimlerini göremeyiz. Öyleyse birbirinden farklı türde yıldızları nasıl ayırt edebiliyo-

ruz? Yıldızların büyük çoğunluğu için, gözlemleyebildiğimiz tek bir ayırdedici özellik vardır: yayınladıkları ışığın rengi. Newton, güneş ışığının üçgen prizma biçiminde bir camdan geçirildiğinde, aynı gökkuşağında olduğu gibi, bileşimindeki renklere (spektrumuna ya da renk yelpazesine) ayrıştığını bulmuştu. Bir teleskopu, bir yıldız ya da yıldız kümesi üzerine odaklayarak, onlardan gelen ışığın renk yelpazesini benzer biçimde gözlemleyebiliriz. Değişik yıldızların değişik renk yelpazeleri vardır, ama yelpazedeki renklerin göreceli parlaklıkları, kızılkor bir cisimden yayınlanan ışıkta bulunması beklenenin aynısıdır. (Gerçekten de, ışık geçirmeyen bir cismin kızılkor durumda iken yayınladığı ışığın renk yelpazesi-ışık spektrumu- yalnızca cismin sıcaklık derecesine bağlıdır. Yani, bir yıldızın sıcaklığını, ışığının renk yelpazesine bakarak belirleyebiliriz.) Dahası, yıldızların renk yelpazelerinde belli bazı renklerin eksik olduğunu ve bu eksik renklerin yıldızdan yıldıza değiştiğini bulmaktayız. Her kimyasal elementin kendine özgü belli bir renk takımını soğurduğunu bildiğimiz için, bu renkleri belirli bir yıldızın yelpazesinde eksik olan renklerle karşılaştırarak o yıldızın atmosferinin hangi elementlerden oluştuğunu kesinlikle saptayabiliriz.

1920'lerde gökbilimciler öbür kümelerdeki yıldızların renk yelpazelerine bakmaya başladıklarında çok tuhaf bir şeyle karşılaştılar: kendi kümemizin yıldızlarında olduğu gibi onlarda da kendine özgü eksik renk takımları vardı, ama bu renklerin hepsi göreceli olarak aynı oranda kırmızıya doğru kaymışlardı. Bunun ne demek olduğunu anlayabilmek için önce Doppler etkisini bilmeliyiz. Daha önce değindiğimiz gibi görünen ışık, elektromanyetik alandaki dalgalanmalardan, yani dalgalardan oluşur. Işığın frekansı (yani saniyedeki dalga sayısı), saniyede dörtyüz milyon kere milyondan saniyede yediyüz milyon kere milyona değişen son derece büyük bir sayıdır. İnsan gözünün renk diye gördüğü, kırmızı renk en düşük, mavi renk en yüksek olmak üzere ışığın değişik frekanslarıdır. Örneğin bir yıldız gibi bizden sabit uzaklıkta bir ışık kaynağının sabit frekansta ışık dalgaları yayınladığını düşünelim. Açıktır ki, bize ulaşan ışığın frekansı yayınlanan ışığın frekansının aynısı ola-

caktır. (Yıldız kümesini çekim kuvveti belirgin bir fark yaratacak kadar etkili değildir.) Şimdi de ışık kaynağının bize doğru hareket ettiğini düşünelim. Kaynak yeni bir dalga yayınladığında dalga tepesi bize bir öncekinden daha yakın olacaktır, böylece bu yeni dalga tepesinin bize ulaşması yıldızın durağan olduğu durumdan daha kısa sürecektir. Bu ise bize ulaşan iki dalga tepesi arasında geçen sürenin, yıldızın durağan olduğu durumdakinden daha az olduğu, yani saniyede bize ulaşan dalga sayısının (frekansın) daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Benzer biçimde, yıldız bizden uzaklaşıyorsa, gözlemlediğimiz dalgaların frekansı daha düşük olacaktır. Bu olayı ışık bağlamında göz önüne aldığımızda, bizden uzaklaşan yıldızların ışığının yelpazesi kırmızıya, bize yaklaşan yıldızların renk yelpazesi ise maviye kayacaktır. Doppler etkisi denen, frekans ile hız arasındaki bu ilişki ile her gün karşılaşmaktayız. Yoldan geçen bir arabayı dinleyin; araba yaklaşırken motorunun sesi daha tiz (yüksek bir frekansa karşılık) gelir, bizi geçip uzaklaştıkça da sesin tınısı düşer, yani motorun sesi kalınlaşır. Işık ve radyo dalgalarının davranışı birbirine benzer. Gerçekten de polis, taşıtların hızını onlardan yansıyan radyo dalgalarının frekansını ölçerek saptarken Doppler etkisinden yararlanmaktadır.

Hubble, bizimkinden başka yıldız kümelerinin varlığını kanıtladıktan sonra zamanını onların uzaklıklarını ve renk yelpazelerini kataloglamakla geçirdi. O zamanlar çoğu kişi, yıldız kümelerinin oldukça gelişigüzel bir biçimde gezindiklerini, bundan dolayı kırmızıya kaymış yelpazeler kadar maviye kaymış yelpazeler de bulunacağını beklemekteydi. Ama yıldız kümelerinin çoğunun kırmızıya kaymış olduğunun bulunması oldukça şaşırtıcı oldu: hemen hepsi bizden uzaklaşmaktaydı! Hubble'ın 1929'da yayınladığı bir bulgusu ise bundan daha da şaşırtıcıydı: bir yıldız kümesinin kırmızıya kayma miktarı bile gelişigüzel değildi, bizden olan uzaklığı ile doğru orantılıydı. Ya da başka bir deyişle yıldız kümesi ne kadar uzakta ise uzaklaşma hızı da o oranda fazlaydı! Bu da, evrenin, herkesin daha önce düşündüğü gibi statik olamayacağı, yıldız kümeleri arasındaki uzaklığın sürekli artmasıyla aslında genişlemek-

te olduğu anlamına gelmektedir.

Evrenin genişlemekte olduğunun ortaya çıkarılışı yirminci yüzyılın en büyük düşünsel devrimlerinden biridir. Bugünden geçmişe bakıldığında kimsenin bunu neden daha önce akıl etmediğine şaşmamak elde değil. Newton ve diğerleri statik bir evrenin kütlesel çekim etkisiyle zamanla büzülmeye başlayacağını kestirmeliydiler. Şimdi, evrenin durağan olmayıp genişlemekte olduğunu varsayalım. Genişleme oldukça yavaş ise, çekim kuvveti sonunda genişlemenin durmasına ve evrenin büzülmeye başlamasına neden olurdu. Ama evrenin genişlemesi belli bir hızın üstünde ise, çekim hiçbir zaman onu durdurmaya yetecek kadar kuvvetli olamaz ve evren sonsuza değin genişlerdi. Bu biraz yeryüzünden uzaya bir roket fırlatılmasına benzer. Eğer roketin hızı düşükse yerçekimi sonunda onu durdurup dünyaya geri düşmesine neden olur. Öte yandan eğer roketin hızı belli bir niceliğin (yaklaşık saniyede onbir kilometre) üstündeyse yerçekimi onu geri çekecek kadar kuvvetli olamayacak ve roket dünyadan sonsuza dek uzaklaşacaktır. Evrenin bu davranış biçimi, Newton'ın çekim kuramından ondokuzuncu, onsekizinci, hatta onyedinci yüzyılda çıkartılabilmeliydi. Ama statik evren inancı o denli güçlüydü ki, yirminci yüzyıla dek yıkılmadan dayanabildi. Einstein bile, 1915'te genel görelik kuramı üzerinde çalışırken, evrenin statik olduğundan o kadar emindi ki, bu sonucu olası kılmak üzere denklemlerine "evrenbilimsel sabit" denen bir sayı katarak kuramında değişiklikler yaptı. Einstein karşıçekim kuvveti diye diğer kuvvetlere benzemeyen, belli bir kaynaktan çıkmayan, ama uzay-zaman dokusu içerisine yapay olarak yerleştirilmiş bir kuvvet ortaya attı. Uzay-zamanının, yapısından gelme bir genişleme eğilimi olduğunu, bunun da evrendeki maddenin birbirini çekmesini tam olarak karşılayarak evrenin statik olmasına yol açtığını savunuyordu. Görülüyor ki, Einstein ve diğer fizikçiler genel görelik kuramının evrenin statik olmadığı sonucunu çıkarmasını görmezlikten gelirken, yalnızca bir kişi, Rus fizikçi ve matematikçi Alexander Friedmann (Fridman) genel görelik kuramını tam olarak değerlendirmiş ve evrenin genişlemekte olduğu sonu-

cunu çıkarmıştı.

Friedmann, evrene ilişkin çok basit iki varsayımdan yola çıktı: hangi yöne bakarsak bakalım evrenin aynı görüneceği ve evreni başka herhangi bir noktada gözlemlerken de bunun doğru olacağı. Yalnızca bu iki düşünceden kalkınarak, Friedmann evrenin statik olmasını beklemememiz gerektiğini gösterdi. Gerçekten de, 1922 yılında Friedmann, Edwin Hubble'ın birkaç yıl sonra bulacağı şeyi önceden kesin olarak bilebilmişti!

Şurası açık ki, evrenin her yönden aynı göründüğü varsayımı gerçekte doğru değildir. Örneğin, daha önce gördüğümüz gibi, kümemizdeki diğer yıldızlar geceleyin gökyüzünde Samanyolu dediğimiz belirgin bir ışık kuşağı oluşturur. Ama uzak yıldız kümelerine bakarsak, aşağı yukarı her yönde aynı sayıda oldukları söylenebilir. Demek ki evren, yıldız kümeleri arasındaki uzaklıklara oranla daha büyük bir ölçekle gözlendiğinde ve küçük ölçeklerde ortaya çıkan farklar göz önüne alınmadığında kabaca her yönde aynıymış gibi ele alınabilir. Uzun bir süre bu düşünüş, Friedmann'ın varsayımını - gerçek evrene kaba bir yaklaşım olarak- doğrulamaya yetti. Ama yakın geçmişte, Friedmann'ın varsayımının evrenin son derece doğru bir bitimi olduğu gerçeği şans eseri ortaya çıktı.

1965 yılında, New Jersey'deki Bell Telefon Labortuvarlarında Arno Penzias (Penziyıs) ve Robert Wilson (Vilsın) adında iki fizikçi son derece duyarlı bir mikrodalga dedektörünü deniyorlardı. (Mikrodalgalar aynı ışık gibidir ama frekansı çok daha düşüktür -yalnızca saniyede on bin milyon dalga civarında). Penzias ve Wilson dedektörün, beklediklerinden fazla gürültü toplamasından endişe duymaktaydılar. Gürültü belirli bir yönden geliyor gibi de değildi. İlk önce detektör üzerinde kuş pislikleri buldular, başka olası bozukluklar olup olmadığına baktılar, ama kısa bir sürede bunların olayın nedeni olamayacağını anladılar. Gürültü atmosfer içinden geliyor olsaydı, dedektör dimdik gökyüzüne çevrildiğinde görültünün en aza inmesi gerektiğini biliyorlardı, çünkü ışık ışınları atmosfer içinde ufuk çizgisinden doğru gelirken, tam tepeden geldiklerinden daha uzun yol katederler. Oysa bu fazladan gürültü, dedektör hangi

yöne doğrultulursa doğrultulsun aynıydı; şu halde atmosferin dışından gelmesi gerekiyordu. Ayrıca, gece, gündüz ve bütün yıl boyunca değişmiyor, dünyanın kendi ekseni etrafında ve güneşin çevresinde dönmesinden hiç etkilenmiyordu. Bu da göstermekteydi ki, mikrodalga ışıması Güneş Sisteminin ve hatta yıldız kümemizin ötesinden gelmekteydi; yoksa, dünyanın devinimi dedektörü değişik yönlere doğrulttukça bu gürültüyü değiştirmesi gerekirdi. Gerçekten de gözlemlenebilen, bütün evreni katederek bize ulaşmış olması gerektiğini bildiğimiz ışıma her yönde aynı olduğu için, evren de her yönde, ama büyük ölçekte, aynı olmalıydı. Şimdi biliyoruz ki, hangi yöne bakarsak bakalım bu gürültü hiçbir zaman onbinde birden fazla değişmez; bundan dolayı Penzias ve Wilson farkında olmadan Friedmann'ın birinci varsayımının olağanüstü kesin bir tanıtını bulmuşlardı.

Aşağı yukarı aynı zamanlarda, yakındaki Princeton Üniversitesi'nde Bob Dicke (Dik) ve Jim Peebles (Pibıls) adlı iki Amerikalı fizikçi daha, mikrodalgalara ilgi gösteriyorlardı. (Bir zamanlar Alexander Friedman'ın öğrencisi olan) George Gmow'un (Gamov) ilk evrenin akkor parlaklığında, çok sıcak ve yoğun olduğu yolundaki savı üzerinde çalışmaktaydılar. Dicke ve Peebles'ın tezine göre ilk evrenin bu kızartısını hâlâ görebilmemiz gerekirdi, çünkü bu ışık evrenin çok uzak köşelerinden bize ancak erişiyor olmalıydı. Ancak bu ışık, evrenin genişlemesi nedeniyle kırmızıya o denli kaymış olmalıydı ki, şimdi biz onu mikrodalga olarak algılamalıydık. Dicke ve Peebles tam bu ışımayı aramaya hazırlanırken Penzias ve Wilson onların bu çabasını duyup, aranan şeyi zaten bulmuş olduklarını farkettiler. Bundan dolayı, Penzias ve Wilson'a 1978 yılında Nobel Ödülü verildi. (Bırakın Ganow'u, Dicke ve Peebles bile bunu biraz zor hazmetmiş olmalı.)

İlk bakışta, evrenin her yönden aynı göründüğüne ilişkin tanıtlar sanki bizim evrende özel bir yerimiz varmış izlenimini vermektedir. Yani, tüm diğer yıldız kümelerini bizden uzaklaşıyor olarak gözlüyorsak evrenin özeğinde olduğumuzu düşünebiliriz. Ama, değişik bir açıklama da şu: evren başka bir yıldız kümesinden ba-

kıldığında da aynı gözükebilir. Bu daha önce gördüğümüz gibi Friedmann'ın ikinci varsayımıdır. Bu varsayımın doğruluğunu ya da yanlışlığını gösterecek hiçbir bilimsel tanıtımız yok. Buna alçakgönüllüğümüz nedeniyle inanıyoruz: evrenin başka noktalardan değil de yalnızca bizim bulunduğumuz yerden her yönden aynı görünmesi çok tuhaf olurdu! Friedmann'ın modelinde bütün yıldız kümeleri birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Bu durum, yüzeyi benekli bir balonun şişirilmesine benzemektedir. Balon şiştikçe herhangi iki benek arasındaki uzaklık artar ama hiçbir benek için genişlemenin özeğidir diyemeyiz. Üstelik, benekler arası uzaklık arttıkça uzaklaşma hızı da artacaktır. Benzer biçimde Friedmann'ın modelinde de iki yıldız kümesinin birbirinden uzaklaşma hızı aralarındaki uzaklıkla doğru orantılıdır. Bu model bir yıldız kümesinin kırmızıya kayma miktarının, aynı Hubble'ın gözlemlerinde bulduğu gibi, bizden olan uzaklığına bağlı olduğunu öngörmekteydi. Friedmann'ın çalışması, modelinin başarısına ve Hubble'ın gözlemlerini önceden kestirmesine karşın, Amerikalı fizikçi Howard Robertson (Rabırtsın) ve Britanyalı matematikçi Arthur Walker'in (Vokır), Hubble'ın evrenin düzgün biçimde genişlemesi olayını bulmasının ardından, benzer modeller geliştirdiği 1935 yılında dek Batı dünyasında bilinmiyordu.

Friedmann'ın kendisi yalnızca bir tanesini bulmuş olmakla birlikte, onun iki temel varsayımına uyan üç değişik türde model vardır. Birinci modelde (Friedmann'ın bulduğu) evrenin genişlemesi yıldız kümeleri arasındaki çekim kuvvetinin genişlemeyi yavaşlatıp, sonunda durdurmaya yeteceği kadar yavaştır. Yıldız kümeleri daha sonra birbirlerine doğru hareket etmeye başlar ve evren büzülür. Şekil 3.2 birbirine komşu iki yıldız kümesi arasındaki uzaklığın zaman ilerledikçe nasıl değiştiğini göstermektedir. Sıfırdan başlayıp en üst bir değere ulaşmakta, sonra yine sıfıra inmektedir. İkinci tür çözümde evren o denli hızlı genişlemektedir ki, çekim kuvveti onu biraz yavaşlatsa da hiçbir zaman durduramaz. Şekil 3.3, bu model de yıldız kümeleri arasındaki uzaklığın artışını göstermektedir. Uzaklık sıfırdan başlamakta, ancak yıldız kümeleri gi-

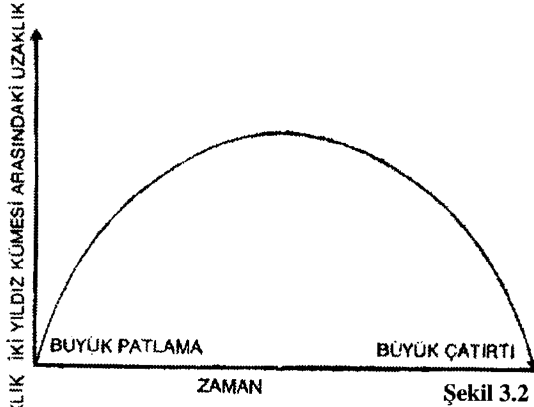
derek kararlı bir hızla birbirlerinden uzaklaşmaktadır. Son olarak, evrenin büzülmeyi ancak önlemeye yetecek bir hızla genişlediğine varan üçüncü bir çözüm vardır. Şekil 3.4'de gösterildiği gibi, bu durumda da uzaklık sıfırdan başlayarak sonsuza dek artar. Ama yıldız kümelerinin birbirinden ayrılma hızı, hiçbir zaman sıfıra düşmese bile gittikçe azalır.

Birinci tür, Friedmann modelinin kayda değer bir özelliği, modeldeki evrenin uzay içinde sonsuz olmadığı, ama uzayın da herhangi bir sınırının olmadığıdır. Çekim o kadar kuvvetlidir ki, uzay bükülerek, dünya yüzeyini andıracak biçimde, kendi üzerine kapanmıştır. Dünya yüzeyi üzerinde belli bir yönde gidildiğinde hiçbir zaman aşılamaz bir engelle karşılaşılmaz ya da bir kenardan aşağı düşülmez, sonunda başlanılan yere geri dönülür. Friedmann'ın birinci modelinde uzay tıpkı böyledir, ama dünyanın yüzeyi gibi iki boyutlu olmayıp, üç boyutludur. Dördüncü boyut zaman da sonludur, başı ve sonu olan bir çizgi gibi. Daha ileride, genel görelik kuramı ile tanecik mekaniğinin belirsizlik ilkesi bir araya getirildiğinde uzayın ve zamanın her ikisinin de herhangi bir sınır ya da kenar olmaksızın sonlu olabileceğini göreceğiz.

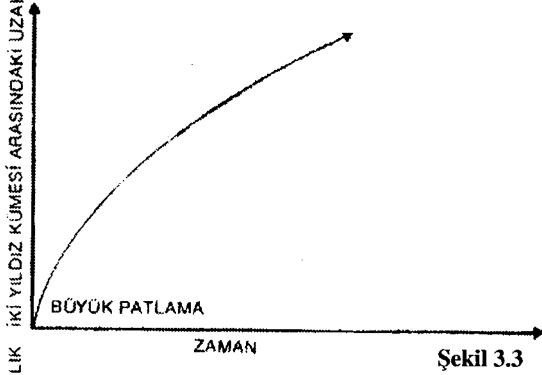
Evrenin çevresinin boydan boya dolaşıp başlanılan noktaya ulaşılması bilimkurgucular için iyi bir malzeme olsa da, daha bu tur tamamlanmadan evrenin çökerek yeniden sıfıra ineceği gösterilebildiğinden, uygulamada bir yararı yoktur. Evren sıfıra inmeden başladığınız noktaya varabilmeniz için ışıktan daha hızlı gitmeniz gerekir ki, bu olanaksızdır.

Friedmann'ın genişleyen ve büzülen birinci tür evren modelinde uzay, dünyanın yüzeyi gibi kendi üstüne kapanıktır. Şu halde sonlu boyuttadır. Sonsuza dek genişleyen ikinci tür modelde uzay daha değişik bir biçimde, bir semer gibi bükülüdür. Bu durumda uzay sonsuzdur. Son olarak, kritik hızla genişleyen üçüncü Friedmann modelinde uzay düzdür (bundan dolayı yine sonsuzdur).

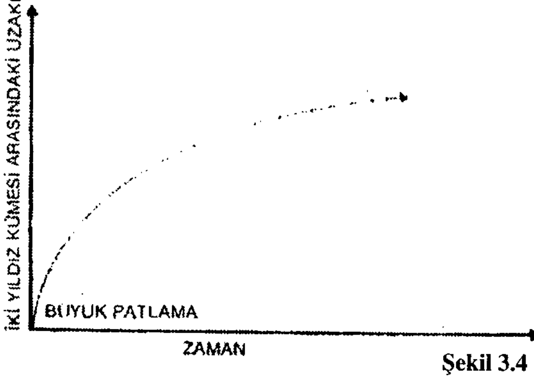
Acaba hangi Friedmann modelini evreni doğru betimliyor? Evren sonunda genişlemeyi durdurup büzülmeye mi başlayacak yoksa sonsuza dek genişleyecek mi? Bu soruyu yanıtlamak için evre-



Şekil 3.2



Şekil 3.3



Şekil 3.4

nin şimdiki genişleme hızını ve ortalama yoğunluğunu bilmeliyiz. Eğer yoğunluk genişleme hızı ile belirlenen kritik bir değerin altındaysa, çekim kuvveti genişlemeyi durdurmak için güçsüz kalacaktır. Eğer yoğunluk kritik değerin üstündeyse çekim kuvveti gelecekte evrenin genişlemesini durdurup çökmesine neden olacaktır.

Evrenin şimdiki genişleme hızını, diğer yıldız kümelerinin bizden uzaklaşma hızlarını Doppler etkisiyle ölçerek belirleyebiliriz. Bu çok kesin bir doğrulukla elde edilebilir. Ama yıldız kümeleri arasındaki uzaklıklar ancak dolaylı yollarla ölçülebildiğinden o kadar iyi bilinmemememktedir. Bu yüzden bütün bildiğimiz evrenin her bir milyar senede yüzde beş ile on arası genişlediğidir. Evrenin bugünkü ortalama yoğunluğuna ilişkin sayıdaki belirsizlik daha da fazladır. Kendi kümemizde ve öteki kümelerde gördüğümüz bütün yıldızların kütlelerini topladığımızda, öngörülen en düşük genişleme hızı için bile, genişlemeyi durdurmaya yetecek kütle miktarının yüzde birinden azını elde ederiz. Yıldız kümemiz ve diğer yıldız kümeleri içinde doğrudan göremediğimiz ama varlığını yıldızların yörüngelerini etkilemelerinden anladığmız büyük miktarda "kara madde" olması gerek. Ayrıca, yıldız kümelerinin çoğu demetler gibi birarada bulunur ve benzer biçimde bu kez yıldız kümelerinin devinimlerine etkisinden, yıldız kümesi demetleri arasında da, kara maddenin varlığını çıkarmaktayız. Bütün bu kara maddeyi topladığımız zaman bile, genişlemeyi durdurmaya yetecek kütlenin ancak yüzde onunu elde ederiz. Bununla birlikte, daha farkında olmadığımız ve evrenin ortalama yoğunluğunu, genişlemeyi durdurmaya yetecek kritik değere çıkartacak, evren içinde düzgün dağılmış başka tür bir maddenin var olma olasılığını göz ardı edemeyiz. Şu halde, bugünkü tanıtlar evrenin büyük bir olasılıkla sonsuza dek genişleyeceğine işaret ediyorsa da, şundan da eminiz ki, evren günün birinde çökecekse bile, en azından on milyar senedir genişlemekte olduğundan, bu, on milyar seneden önce gerçekleşmeyecektir. Bundan boş yere endişelenmemeliyiz: o zamana dek insanoğlu Güneş Sistemi'nin dışında koloniler kurmamışsa, sönen güneşimizle birlikte çoktan yok olup gitmiş olacaktır!

Friedmann'ın bütün çözümleri, geçmişte bir zamanda (on ila yirmi milyar yıl önce) yıldız kümeleri arası uzaklığın sıfır olması gerektiği özelliğini taşırlar. Büyük patlama diye adlandırdığımız o anda, evrenin yoğunluğu ve uzayzaman eğriliği sonsuz olmalıydı. Matematik sonsuz sayılarla tam anlamıyla uğraşamadığından, (Friedmann'ın çözümlerinin dayandığı) genel görelik kuramı, evrende artık kendisinin de işlemediği bir nokta olduğunu öngörür. Böyle bir noktaya matematikçiler tekil nokta (ya da tekillik) derler. Aslında bütün bilim kuramlarımız uzay-zamanın düzgün ve hemen hemen düz olduğu varsayımına dayanmışlardır ve bu yüzden uzay zamanın eğriliğinin sonsuz olduğu büyük patlama tekil noktasında geçerliklerini yitirirler. Bu demektir ki, büyük patlamadan önce olaylar olsa bile daha sonraki olayları belirlemek için kullanılamazlar, çünkü büyük patlama anında hesaplarımız geçersizdir. Benzer biçimde, büyük patlamadan yalnızca bu yana olup biten her şeyi bilsek bile, ondan önce olanları bulmamıza olanak yoktur. Büyük patlamadan önceki olayların, bizi ilgilendirdiği kadarıyla hiçbir sonucu yoktur ve bu yüzden evrenin bilimsel modelinde yer alamazlar. Şu halde onları modelin dışında bırakarak zaman büyük patlamayla başlamıştır demeliyiz.

Birçok insan zamanın bir başlangıcı olduğu düşüncesini ilahi kudrete şamar patlattığı için sevmez. (Öte yandan, Katolik Kilisesi büyük patlama modelini kavrayıp 1951 yılında, onun İncil'le uyum içinde olduğunu resmen açıkladı.) Büyük patlama sonucundan kaçınmaya yönelik pek çok girişimde bulunduğuna şaşmamalı. En yaygın biçimde benimsenen öneri, kararlı durum kuramıydı. Nazi işgalindeki Avusturya'dan kaçan Hermann Bondi ve Thomas Gold adlı iki sığınak ile, onlarla birlikte savaş sırasında radarın geliştirilmesi üzerinde çalışan Fred Hoyle (Hoyl), adlı bir Britanyalı tarafından 1948'de ortaya atılmıştı. Bu düşünceye göre, yıldız kümeleri birbirinden uzaklaştıkça aralarındaki boşluklarda yaratılan yeni maddeden sürekli olarak yeni yıldız kümeleri oluşmaktaydı. Bu yüzden evren kabaca her zaman ve uzayın her noktasından aynı görünmekteydi. Kararlı durum kuramı, sürekli madde yaratılma-

sını hesaba katmak için genel görelik kuramında ufak değişiklikler gerekiyordu ancak maddenin yaratılma hızı o kadar düşüktü ki, (yaklaşık kilometre küp başına yıldız bir parçacık) deneylerle çelişkiye düşmüyordu. Bu kuram birinci bölümdeki ölçütlere göre iyi bir kuramdı: basitti ve gözlemlerle sınanabilecek belirli öngörülerde bulunuyordu. Bu öngörülerden biri, evrende ne zaman ve nereye bakarsak bakalım yıldız kümeleri ya da benzeri maddelerin sayısının, belli herhangi bir uzay oylumunda aynı olacağıdır. 1950'lerin sonlarında ve 1960'ların başlarında Cambridge'de Martin Ryle (Rayl) önderliğinde (o da Bondi, Gold ve Hoyle ile birlikte savaş sırasında radar üzerinde çalışmıştı) bir grup gökbilimci tarafından dış uzayın radyo dalga kaynakları tarandı. Cambridge grubu bu kaynakların çoğunun yıldız kümemizin dışında bulunması gerektiğini ve zayıf kaynakların sayısının kuvvetli kaynakların sayısından çok daha fazla olduğunu ortaya çıkardı. Güçsüz kaynakları uzak kaynaklar, güçlü kaynakları yakın kaynaklar olarak yorumladılar. Böyle olunca, birim uzay oylumu başına uzakdakilere göre daha az sayıda birbirine benzer yakın kaynak bulunmalıydı. Bu ise, evrenin başka yerlerinden daha az sayıda kaynak bulunduran büyükçe bir bölgesinin özeğinde olduğumuz anlamına gelmekteydi. Başka bir yoruma göre kaynaklar geçmişte, radyo dalgaları bize doğru yola çıktıkları zaman, şimdi olduklarından sayıca daha fazlaydı. Her iki açıklama da kararlı durum kuramının öngörüleriyle çelişmekteydi. Dahası, 1965 yılında Penzias ve Wilson'ın mikrodalga ışımayı bulmaları evrenin geçmişte çok daha yoğun olduğunu gösterdi. Bu durumda, kararlı durum kuramının terkedilmesi gerekti.

Büyük patlama ve buna bağlı olarak zamanın bir başlangıcı olduğu sonucundan kaçınmak için bir başka açıklama 1963 yılında Rus bilimcileri Evgenii Lifshitz (Lifşitz) ve Isaac Khalatnikov'dan (Halatnikov) geldi. Önerdiklerine göre büyük patlama, gerçek evrenin yalnızca bir yaklaşımı olan Friedmann modellerinin bir tuhaf özelliği olabilirdi. Belki de, gerçek evrene kabaca benzeyen bütün modeller arasında, Friedmann'ınki büyük patlama tekilliğini içeren

tek modeldi. Friedmann'ın modellerinde yıldız kümeleri giderek birbirleriden uzaklaşırlar -bu yüzden geçmişte bir zamanda hepsinin aynı yerde bulunması pek şaşırtıcı değildir. Ama gerçek evrende yıldız kümeleri yalnızca birbirlerinden uzaklaşmakla kalmazlar -başka yönlerde hızlara da sahiptirler. Bu yüzden hepsinin aynı noktada bulunmuş olması için aslında hiçbir neden yoktur; birbirlerine yakın olmuş olmaları yeterlidir. Şimdi genişleyen evren belki bir büyük patlama tekilliğinin değil de, daha önceki bir büzülme aşamasının sonucudur; evren küçülmeyi sürdürdükçe içindeki parçacıklar birbirlerine yapışıp kalmış olmayıp, birbirlerinin yakınından geçip uzaklaşarak evrenin bugünkü genişlemesini doğurmuş olabilir. O zaman evrenin bir büyük patlamayla ortaya çıkıp çıkmadığını nasıl öğrenebiliriz? Lifshitz ve Khalatnikov evrenin, kabaca Friedmann'ın modellerine benzeyen ama bu arada gerçek evrendeki düzensizlikler ve yıldız kümelerinin gelişigüzel hızlarını da gözönüne alan modellerini incelediler. Yıldız kümeleri artık birbirlerinden dosdoğru uzaklaşıyor olmasa bile bu tür modellerin bir büyük patlamayla başlayabileceğini gösterdiler, ama bunun yine ancak yıldız kümelerinin belli bir biçimde devindiği bazı kuraldışı modeller için geçerli olabileceğini eklediler. Büyük patlama tekilliğini içeren bir tek Friedmann modeline karşılık bu tekilliğini içermeyen sonsuz sayıda benzer modeller olabileceğinden, büyük patlamanın gerçek olmadığı sonucuna varmamız gerektiğini ileri sürdüler. Ama daha sonra, yıldız kümelerinin özel bir biçimde devinmesi gerekmediği, Friedmann modeline benzer, çok daha genel türde, tekillik içeren modeller olduğunun farkına vardılar. Bu yüzden savlarını 1970'te geri çektiler.

Lifshitz ve Khalatnikov'un çalışması, genel görelik kuramı doğruysa evrenin bir tekil noktası, bir büyük patlama anı **olabileceğini** gösterdiği için değerlidir. Ama şu can alıcı soruyu yanıtsız bırakmıştır: genel görelik kuramı, evrenin bir büyük patlama anı, zamanın başlangıcı **olması gerektiğini** öngörüyor mu? Bunun yanıtı 1965 yılında Britanyalı matematikçi ve fizikçi Roger Penrose'un kökten farklı bir yaklaşımından geldi. Işık konilerinin genel

göreliğe göre davranışları ile kütlesel kuvvetin her zaman çekici olmasını birlikte kullanarak, Penrose kendi çekim kuvveti altında çöken bir yıldızın, yüzeyi sonunda sıfıra inen bir bölge içinde kalacağını gösterdi. Bu bölgenin yüzeyi sıfıra indiği için oylumu da sıfıra inmeliydi. Yıldızın içindeki maddenin tümü sıfır oylumda bir bölgeye sıkışacağı için maddenin yoğunluğu ve uzay-zamanının eğriliği sonsuz olacaktı. Başka bir deyişle, kara delik diye bilinen uzay-zaman bölgesi içinde bir tekil nokta bulunmaktadır.

İlk bakışta Penrose'un sonucu ancak yıldızlara uygulanabilir gibi görünüyordu; evrenin tümünün geçmişinde bir büyük patlama tekilliği olup olmadığı sorusuna ilişkin herhangi bir şey söylemiyordu. Penrose bu teoremi ortaya koyduğunda, ben doktora tezim için çaresizce konu bulmaya çalışan bir araştırma öğrencisiydim. Bu olaydan iki yıl önce, halk arasında Lou Gehrig hastalığı diye bilinen ALS ya da motor nöron hastalığı teşhisi konulmuş ve bana ancak bir iki yıl daha yaşayabileceğim söylenmişti. Bu koşullar altında doktora tezine başlamanın pek bir anlamı yoktu -bitirinceye dek yaşayacağımı sanmıyordum. Ama iki yıl geçmiş ve durumum pek de kötüleşmemişti. Aslında işim iyi gitmeye başlamış, Jane Wilde (Vayld) adında çok hoş bir kızla da nişanlanmıştım. Ama evlenebilmek için bir işe, iş için de doktora derecesine gerek vardı.

1965 yılında Penrose'un, çekim kuvvetiyle çöken her cismin, sonunda bir tekil noktaya ulaşması gerektiğini anlatan teoremini okumuştum. Kısa bir süre sonra, Penrose'un teoreminde, çökme genişlemeye dönüşecek biçimde zamanın yönü tersine döndürüldüğünde, şimdiki evren büyük ölçekte Friedmann modeline kabaca uyduğu sürece, teoremin koşullarının hâlâ geçerli olacağını farkettim. Penrose'un teoremi çökmekte olan her yıldızın bir tekil noktada sonlaması **gerektiğini** göstermişti; zamanın akışının tersine çevrildiği durumda ise Friedmann modelini benzeri, her genişleyen evrenin bir tekil noktadan başlaması **gerektiğini** gösterdi. Teknik nedenlerden dolayı Penrose kuramı, evrenin sonsuz büyüklükte olmasını gerektiriyordu. Bu yüzden bunu, evren ancak çöküşü önleyecek hızla genişliyorsa tekilliğin varolacağını kanıtlamak için

kullanabilirdim (çünkü yalnızca bu tür Friedmann modelleri sonsuz büyüklükteydi).

Bundan sonraki birkaç yıl içinde tekil noktaların varlığını kanıtlayan bu teoremlerden, bu ve diğer teknik koşulları kaldıracak yeni matematik yöntemler geliştirdim. Sonuç, 1970'te Penrose ile birlikte yayınladığımız, genel göreliğin doğruluğu ve evrenin gözlemlediğimiz kadar madde içermesi koşuluyla bir büyük patlama tekilliğinin olmuş olması gerektiğini kanıtlayan makale oldu. Çalışmamıza çok karşı çıkışlarda bulunuldu. Bunların bir bölümü, bilimsel determinizme Marksçı bağlılıklardan ötürü Ruslardan; bir bölümü de, tümüyle çirkin tekillik düşüncesinin, Einstein'ın kuramının güzelliğini bozduğunu ileri sürenlerden geldi. Ama bir matematik teoremi üzerinde fazla tartışılamaz. Sonunda çalışmamız yaygın kabul gördü ve böylece bugün hemen herkes evrenin büyük patlamayla başladığını varsayıyor. Belki biraz komik gelecek ama ben bu arada düşüncemi değiştirmiş olduğumdan şimdi diğer fizikçileri evrenin başlangıcında bir tekillik olmadığına inandırmaya çalışıyorum -ilerideki bölümlerde göreceğiniz gibi tanecik etkileri hesaba katıldığında bu tekillik yok olmaktadır.

Bu bölümde, insanoğlunun binlerce yıl içinde oluşan evren görüşünün yarım yüzyıldan kısa bir süre içinde nasıl değiştiğini gördük. Hubble'ın evrenin genişlediğini buluşu ve evrenin uçsuz bucaksızlığında kendi gezegenimizin önemsizliğinin ayırdında varışımız yalnızca bir başlangıçtı. Deneysel ve kuramsal tanıtlar dağ gibi üst üste yığıldıkça evrenin zaman içinde bir başlangıcı olması gerektiği düşüncesi gün geçtikçe açıklık kazandı ve sonunda 1970'te Penrose ve ben, Einstein'in genel görelik kuramına dayanarak bunu kanıtladık. Bu kanıt genel göreliğin eksik bir kuram olduğunu gösteriyordu: evrenin nasıl başladığını anlatamazdı, çünkü kendisi de içinde olmak üzere tüm fiziksel kuramların evrenin başlangıcında işlemeyeceğini öngörüyordu. Ancak genel görelik kendisini yalnızca kısmi bir kuram olarak ortaya koyuyor. O halde tekillik teoremlerinin gerçekte bize gösterdiği şu: evrenin ilk zamanlarında öyle bir an vardı ki, evren, yirminci yüzyılın bir diğer kıs-

mı kuramının, tanecik mekaniğinin ele aldığı küçük ölçekteki etkilerin gözden uzak tutulamayacağı kadar küçüktü. İşte 1970'lerin başlarında, evreni anlama yolundaki arayışımızı olağanüstü büyüklerin kuramından olağanüstü küçükleri kuramına yöneltmek zorunda kaldık. Tanecik Mekaniği denen bu kuramı bundan sonraki bölümde anlatacağız; dikkatimizi iki kısmi kuramı çekimin tanecik kuramı adı altında birleştirme çabalarına çevirmeden önce.

4
BELİRSİZLİK İLKESİ

Bilimsel kuramların, özellikle Newton'ın çekim yasasının başarısı, ondokuzuncu yüzyılın başında Fransız bilimcisi Marki Laplace'ı (Laplas) evrenin tümüyle belirlenir olduğu savına vardırdı. Laplace'ın önerdiğine göre, öyle bir bilimsel yasalar takımı olmalıydı ki, yalnızca bir an için evrenin tümünün durumunu bilirsek evrende olup bitecek her şeyi hesaplayabilirdik. Örneğin, güneşin ve gezegenlerin bir andaki hızlarını ve konumlarını biliyorsak, Güneş Sistemi'nin başka zamanlardaki durumunu Newton'ın yasalarını kullanarak hesaplayabilirdik. Bu bağlamda belirlenirlik oldukça açık gözüküyor ama Laplace bununla kalmayıp insan davranışları da içinde olmak üzere her şeye hükmeden benzeri yasaların varolduğunu ileri sürdü.

Bilimsel belirlenirlik öğretisine, Tanrı'nın dünya işlerine karışma özgürlüğüne saldırıda bulunduğu için pek çok kişi şiddetle karşı çıktı. Yine de, bu yüzyılın başına dek bilimin olağan bir varsayımı olarak kaldı. Bu inancın terkedilmesi gereğinin ilk göstergesi, Britanyalı bilimciler Lord Rayleigh (Reyli) ve Sir James Jeans'ın (Ciyns) sıcak bir nesnenin, ya da yıldız gibi bir cismin sonsuz bir hızda enerji yaydığını ileri sürmeleri oldu. O zaman inandığımız yasalara göre sıcak bir cisim her frekansta eşit bir biçimde elektromanyetik dalgalar (radyo dalgaları, görünen ışık ya da röntgen ı-

şınları gibi) yaymalıydı. Örneğin sıcak bir cisim, frekansları saniyede bir ile saniyede iki milyon dalga arasındaki dalgalarla yaydığı enerjinin aynısını, frekansları saniyede iki ile üç milyon dalga arasındaki dalgalarla da yayacak. Ama saniyedeki dalga sayısı sınırsız olduğuna göre, yayılan toplam enerji sonsuz olacak demek.

Gülünçlüğü apaçık bu sonuçtan kaçınmak için Alman bilimcisi Max Planck (Plank) 1900'de ışık, röntgen ışınları ve öbür dalgaların herhangi bir sıklıkta değil de, ancak tanecikler diye adlandırdığı belli paketlerle yayılabileceğini öne sürdü. Ayrıca, her taneciğin, dalgaların frekansı yükseldikçe artan belli bir enerjisi vardı. Buna göre, yeterince yüksek bir frekansta, tek bir taneciği yaymak için bile oldukça fazla enerji gerekecek ve böylece yüksek frekanslarda dalga yayını azalacak, yani cisim ancak sonlu bir hızda enerji yitirecekti.

Tanecik varsayımı, sıcak cisimlerden yayılan ışımanın hızını gayet güzel bir biçimde açıklıyordu. Ama bu varsayımın belirlenirliğe etkisi, 1926'da bir başka Alman bilimcisi Werner Heisenberg (Heyzenberg) ünlü belirsizlik ilkesini ortaya koyuncaya dek anlaşılamadı. Bir parçacığın gelecekteki konumunu ve hızını hesaplayabilmek için şu andaki konumunun ve hızının kesin olarak ölçülebilmesi gerekir. Bunu yapmanın en kolay yolu parçacığa ışık tutmaktır. Işık dalgalarının bir bölümü parçacığa çarpıp saçılacak ve buradan parçacığın konumu saptanacaktır. Ancak parçacığın konumu, ışığın iki dalga tepesi arasındaki uzaklıktan daha küçük bir hata ile saptanamayacağından, parçacığın konumunu daha kesin ölçmek için daha kısa dalga boylu ışık kullanmak gerekir. Şimdi, Planck'ın tanecik varsayımına göre, alabildiğine küçük nicelikte ışık kullanamayız; en az bir adet tanecik kullanmak zorundayız. Bu tek tanecik dokunduğu parçacığın hızını önceden bilinemeyecek bir biçimde değiştirecektir. Üstelik, konumu daha kesin ölçebilmek için daha kısa dalga boylu ışık gerekecek ve bundan dolayı tek bir taneciğin enerjisi daha da yüksek olacaktır. O halde parçacık daha fazla etkilenecektir. Başka deyişle, parçacığın konumunu daha kesin ölçmek için uğraştığınızda, hızını daha hatalı ölçüyor olacaksı-

nız, ya da tersine. Heisenberg gösterdi ki, parçacığın konumundaki belirsizlik ile parçacığın hız çarpı kütlesindeki belirsizliğin çarpımı, Planck sabiti olarak bilinen belli bir nicelikten asla küçük olamaz. Ayrıca, bu sınır koşulu, parçacığın konumunun ya da hızının hangi yolla ölçülmek istendiğine ya da parçacığın türüne bağlı değildir: Heisenberg'in belirsizlik ilkesi dünyanın temel, kaçılamaz bir özelliğidir.

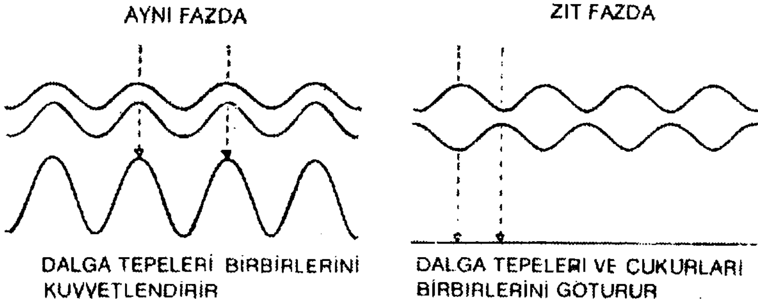
Belirsizlik ilkesi, dünyaya bakış açımıza ta derinden dokunur. Aradan elli yıldan fazla zaman geçmiş olmasına karşın, etkileri çoğu düşünürce kavranamamış olup hâlâ büyük tartışma konusudur.

Belirsizlik ilkesi, Laplace'ın bir bilim kuramı düşünün, tamamıyla belirlenebilir bir evren modelinin ölüm çanını çaldı: eğer evrenin şu andaki durumu bile kesin bir biçimde ölçülemiyorsa, gelecekteki olayları doğru hesaplamak hiç mümkün olamazdı! Yine de, hiç bozmadan evrenin şu andaki konumunu gözlemleyebilecek bir doğaüstü varlık için, olayları tümüyle belirleyen bir yasalar takımı olduğunu düşünebiliriz. Ancak, bu türden evren modelleri biz ölümlere pek ilginç gelmiyor. En iyisi Occam'ın traş bıçağı denilen tutumluluk ilkesini kullanıp, kuramın gözlemlenemeyen yönlerini kesip atmak. Bu yaklaşım Heisenberg, Erwin Schroedinger (Şrödinger) ve Paul Dirac'ı (Dirak) 1920'lerde mekaniği belirsizlik ilkesi temelinde yeniden ele alıp tanecik mekaniği denilen yeni bir kuram ile açıklamaya götürdü. Bu kuramda parçacıkların iyi tanımlı, ayrı ayrı, ama kesin ölçülmeyen konumları ve hızları yoktu. Bunun yerine, konum ve hızın bileşimi olan bir tanecik durumu vardı.

Genel olarak, tanecik mekaniği bir gözlem için tek ve kesin bir sonuç öngörmez. Bunun yerine, birtakım olası sonuçlar öngörür ve her birinin ne kadar olası olduğunu söyler. Yani, başlangıç durumları aynı bir sürü benzeri sistem için aynı ölçüm yapıldığında, ölçümün sonucu bir bölüm için A, başka bir bölüm için B, vb bulunur. Sonucun yaklaşık kaçta kaçının A ya da B olacağı hesaplanabilir, ama herhangi bir ölçümün kendine özgü sonucu önceden bilinemez. Tanecik mekaniği böylece bilime kaçınılmaz bir bilinemezlik ya da gelişigüzellik öğesi sokmaktadır. Einstein buna şid-

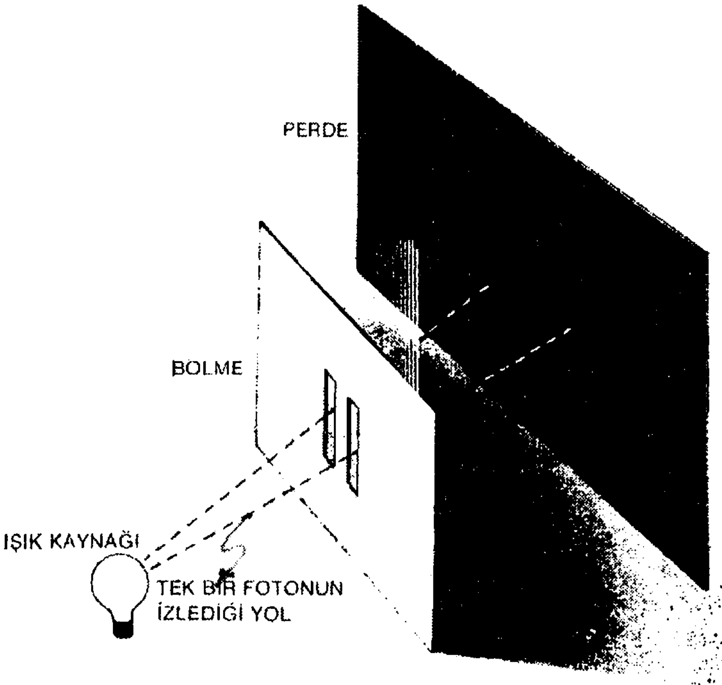
detle karşı çıktı, bu düşüncenin gelişmesinde önemli bir payı bulunduğu halde. Tanecik kuramına katkısından dolayı Einstein'a Nobel ödülü verildi. Buna karşın Einstein evrene şansın hükmettiğini asla kabul etmedi; duyguları şu ünlü deyişle özetlenebilir: "Tanrı barbut atmaz." Oysa öbür bilimcilerin çoğu, tanecik mekanikliğini kabul etme yanlısıydılar, çünkü deneylere tamamen uymaktaydı. Gerçekten de, oldukça başarılı bir kuram olarak modern bilim ve teknolojinin neredeyse tümünün temelini oluşturmaktadır. Televizyon ve bilgisayar gibi elektronik aygıtların temel ögeleri olan transistorlar ve tümleşik devrelerin işleyişini, modern kimya ve biyolojinin temelini ona borçluyuz.Tanecik mekaniğini henüz uygun bir biçimde içine alamayan yalnızca iki fizik bilimi alanı, çekim ve evrenin büyük ölçekte yapısı, kaldı.

Işık, dalgalardan oluşmuş olsa bile, Planck'ın tanecik varsayımı bize, bazı yönleriyle ışığın parçacıklardan oluşmuş gibi davrandığını söylüyor: ışık yalnızca paketler, ya da tanecikler biçiminde yayınlanabilir ve soğurulabilir. Aynı biçimde, Heisenberg'in belirsizlik ilkesi de parçacıkların bazı yönleriyle dalgalar gibi davranacaklarını anlatıyor: parçacıkların kesin bir konumları yoktur ama belli bir olasılık çerçevesinde "dağınık" durumda bulunmaktadırlar. Tanecik mekaniği kuramının dayalı olduğu bu tümüyle yeni matematik temeli, gerçek dünyayı artık parçacıklar ve dalgalar boyutunda açıklamaz; yalnızca gözlemlerimiz bunlarla açıklanabilir. Tanecik mekaniğinde dalgalar ve parçacıklar arasında böyle bir ikilik vardır: bazı durumlarda parçacıkları dalgalar olarak ele almak, öbür durumlarda ise dalgaları parçacıklar olarak ele almak elverişli olmaktadır. Bunun önemli bir sonucu, iki dalga ya da parçacık takımı arasında "girişim" denilen olayın gözlemlenebilmesidir. Yani, bir dalga dizisinin tepeleri öbür dalga dizisinin çukurlarına denk gelir. O zaman bu iki dalga dizisi beklendiği gibi birbirlerine eklenip daha kuvvetli bir dalga oluşturacaklarına, birbirlerini yok ederler (Şekil 4.1). Işık girişiminin bilinen bir örneği, sabun köpükleri üzerinde görülen renklerdir. Bu renklerin nedeni, ışığın, köpüğü oluşturan ince su tabakasının her iki tarafından yansıması-



ŞEKİL 4.1

Şekil 4.1



Şekil 4.2

dır. Beyaz ışıkta, hepsi değişik renkli, ışık dalgaları bulunur. Bazı dalga boyları için, dalga boylu, yani değişik renkli, ışık dalgaları bulunur. Bazı dalga boyları için sabun tabakasının bir tarafından yansıyan dalgaların tepeleri öbür tarafından yansıyan dalgaların çukurlarına denk düşer. Bu dalga boylarına karşılık olan renkler yansıyan ışıkta bulunmaz, böylece ışık renkli gözükür.

Girişim olayı parçacıklarda da gözlenir, tanecik mekaniğinin ortaya koyduğu ikilikten ötürü. İyi bilinen bir örnek "iki yarık" denilen deneydir (Şekil 4.2). Üzerinde birbirine koşut iki dar yarık bulunan bir bölme düşünelim. Bölmenin bir yanına belli bir renkte (yani belli bir dalga boyunda) bir ışık kaynağı konmuş olsun. Işığın çoğu bölmeyi aydınlatacak ama az bir bölümü de yarıklardan geçecektir. Bölmenin öbür yanından yeterince uzağa bir perde konmuş olsun. Perdenin üzerindeki herhangi bir noktaya, her iki yarıktan da ışık dalgaları gelecektir. Ancak, genel olarak, ışığın kaynaktan perdeye katettiği yol her iki yarık için değişik olacaktır. Bu demektir ki yarıklardan çıkan dalgalar perdeye vardıklarında aynı fazda olmayacaklardır: bazı yerlerde birbirlerini yok edecekler, bazılarında ise kuvvetlendireceklerdir. Sonuç, kendine özgü bir açık/koyu girişim çizgileri şeklidir.

Olağanüstü olan şey, ışık kaynağı yerine belli bir hızı olan (yani belli uzunluktaki dalgalara karşılık olan) parçacıklar, örneğin elektronlar kullanıldığında tıpatıp aynı girişim çizgilerinin elde edileceğidir. Olay daha da bir tuhaf görünebilir, çünkü tek bir yarık durumunda girişim yerine perdenin üzerinde elektronların düzgün bir dağılımı elde edilir. Bir yarık daha açmanın yalnızca perdenin her noktasına düşen elektron sayısını artıracağını düşünmek doğal olabilir, oysa girişim nedeniyle, aslında bu sayı bazı yerlerde azalır. Elektronlar yarıklara tek tek gönderilseler, her biri ya bir yarıktan ya da ötekinden geçecek ve böylece geçtiği yarıktan başka bir tane daha yokmuş gibi davranacak-perdede düzgün bir dağılıma yol açacaktır. Ancak gerçekte, elektronlar tek tek bile gönderilseler girişim çizgileri ortaya çıkmaktadır. O halde her bir elektron **her iki** yarıktan da aynı anda geçiyor olmalı!

Tanecikler arasındaki girişim olayı, kimya ve biyolojinin temel birimi ve bizim ve çevremizdeki her şeyin oluştuğu yapı taşı olan atomların yapısını anlamamızda bir dönüm noktasıdır. Bu yüzyılın başlarında, atomların güneş etrafında dönen gezegenler gibi, artı elektrik yüklü bir çekirdek etrafında dönen eksi elektrik yüklü elektronlardan oluştuğu düşünülüyordu. Güneş ve gezegenler arasındaki kütlesel çekim kuvvetleri nasıl gezegenleri yörüngede tutuyorsa, artı ve eksi yüklerin arasındaki çekimin de elektronları yörüngelerinde tuttuğu sanılıyordu. Bu düşüncenin sorunu, tanecik mekaniğinden önceki mekanik ve elektrik yasalarına göre, elektronların enerji yitirerek sarmal bir yörüngede alçalıp çekirdeğin üzerine düşeceğinin gerekmesiydi. Bu da, atomun ve dolayısıyla tüm maddelerin çökerek büyük bir hızla müthiş bir yoğunluk durumuna geleceği demekti. Bu soruna karşı bir çözüm Danimarkalı bilimci Niels Bohr (Bor) tarafından 1913 yılında bulundu. Bohr, elektronların çekirdekten herhangi bir uzaklıkta değil de, önceden saptanmış belli uzaklıklarda yörüngede kalabileceklerini ortaya attı. Ayrıca, belli bir uzaklıkta ancak bir ya da iki elektronun dönebileceği de varsayılırsa, bu, atomun çökmesi sorununu çözmüş olurdu; çünkü elektronlar olsa olsa çekirdeğe en yakın olan en az enerjili yörüngeyi dolduracak kadar alçabileceklerdi.

Bu model, çekirdeği etrafında dönen, bir tek elektronu olan, yapısı en basit hidrojen atomonu pek güzel açıklıyordu. Fakat daha karmaşık atomlara nasıl uygulanacağı pek de açık değildi. Üstelik sınırlı bir "olanaklı" yörüngeler takımı düşüncesi fazla keyfilik taşıyordu. Yeni tanecik mekaniği kuramı bu zorluğu ortadan kaldırdı. Çekirdek etrafında dönen elektronun, hızına bağlı bir dalgaboyuna sahip bir dalga olarak düşünülebileceğini ortaya koydu. Bazı yörüngelerin uzunluğu, elektronun dalgaboyunun tam katına (kesirsiz olarak) denk düşmekteydi. Bu yörüngeler boyunca dalga tepeleri her dönüşte aynı noktada oluyor ve dalgalar böylece kuvvetleniyordu; bu yörüngeler Bohr'un olanaklı yörüngelerinin karşılığı oluyordu. Fakat uzunlukları dalga boyunun tam katı olmayan öteki yörüngelerde, her dalga tepesi elektronlar döndükçe eninde sonun-

da bir dalga çukuru tarafından yok edilecekti; bu yörüngeler olanaksız sayılıyordu.

Parçacık/dalga ikiliğini kafada canlandırmanın güzel bir yolu Amerikan bilimcisi Richard Feynman (Feynmın) tarafından ortaya konan "geçmişler toplamı" denilen yöntemdir. Bu yaklaşımda, taneciksiz klasik kuramdaki gibi parçacıkların uzay-zamanda tek bir geçmişleri ya da yolları olduğu varsayımı yoktur. Bunun yerine, bir parçacığın A'dan B'ye her olası yoldan gittiği varsayılır. Her yola ilişkin iki sayı bulunur: birincisi dalganın büyüklüğünü, ikincisi ise çevrimdeki konumunu (yani tepede mi çukurda mı olduğunu) gösterir. A'dan B'ye gitme olasılığı, tüm yollar için dalgaların toplamı alınarak bulunur. Genel olarak, bir komşu yollar takımı karşılaştırılırsa, fazlar, ya da konumlar çok farklı olacaktır. Bu demektir ki, bu yollara ilişkin dalgalar çoğunlukla birbirlerini tümüyle yok edeceklerdir. Oysa bazı komşu yollar takımı için fazlar, yoldan yola pek değişmeyecek ve bu yollara ilişkin dalgalar yok olmayacaktır. İşte bu yollar, Bohr'un olanaklı yörüngelerine karşılıktır.

Somut matematik biçime konan bu düşüncelerle, daha karmaşık atomlara ve hatta birden çok çekirdek etrafında dönen elektronların bir arada tuttuğu atomlardan oluşan moleküllere ilişkin olanaklı yörüngeleri hesaplamak oldukça basit bir işleme dönüştü. Moleküllerin yapısı ve birbirleriyle reaksiyonları tüm kimya ve biyolojinin temelini oluşturduğundan, tanecik mekaniği, ilkesel olarak, çevremizde görebildiğimiz hemen her şeyi, belirsizlik ilkesinin çizdiği sınırlar içinde hesaplamamıza olanak sağlar. (Ancak, uygulamada içinde birkaç taneden fazla elektron bulunan dizgeler için gereken hesaplar öylesine karmaşıktır ki, bunu yapamayız.)

Einstein'in genel görelik kuramı evrenin büyük ölçekteki yapısına hükmediyor gibidir. Klasik olarak adlandırılan bir kuramdır; yani tanecik mekaniğinin belirsizlik ilkesini hesaba katmaz, öteki kuramlarla tutarlı olabilmek için gerekse bile. Gözlemlerle herhangi bir çelişkiye düşmemesinin nedeni, normal olarak algıladığımız kütlesel çeki alanlarının çok zayıf oluşudur. Ancak, daha önce sözü edilen tekillik teoremleri, en az iki durumda, kara deliklerde ve

büyük patlamada, çekim alanının çok şiddetli olacağına işaret ediyor. Böylesi şiddetli alanlarda, tanecik mekaniğinin etkileri önemli olmalı. Böylece, bir anlamda, klasik genel görelik, sonsuz yoğunlukta noktalar öngörmekle aslında kendi yıkılışının haberini veriyor, nasıl ki klasik (yani taneciksiz) mekanik, atomların sonsuz yoğunluğa çökeceğini ileri sürerek kendi yıkılışını öngördü. Henüz genel göreliği ve tanecik mekaniğini birleştiren tam, tutarlı bir kuramımız yok, ama böyle bir kuramın taşıması gereken özelliklerin bir bölümünü biliyoruz. Bunların kara delikler ve büyük patlama için ne anlama geldiğini kitabımızın daha ileri bölümlerinde göreceğiz. Ama şimdilik, yakın zamanlardaki, doğanın öbür kuvvetlerine ilişkin anlayışlarımızı tek bir tanecik kuramında birleştirme çabalarına dönelim.

5
TEMEL PARÇACIKLAR VE DOĞANIN KUVVETLERİ

Aristo, dünyadaki bütün maddenin dört temel elementten; hava, toprak, ateş ve sudan oluştuğuna inanıyordu. Bu elementlere iki kuvvet etki etmekteydi: yerçekimi yani toprağın ve suyun batma eğilimi ve uçuculuk yani hava ve ateşin yükselme eğilimi. Evrenin içeriğinin madde ve kuvvetlerce bu şekilde bölünmesi bugün hâlâ kullanılmaktadır.

Aristo maddenin sürekli olduğuna inanıyordu, yani, bir madde parçasını sürekli olarak istediğimiz kadar küçük parçalara bölebilir, hiçbir zaman daha küçük parçaya bölünemeyecek madde taneciği ile karşılaşamazdık. Bunun yanısıra Demokritus gibi birkaç Yunanlı da maddenin küçük taneciklerden oluştuğunu ve her şeyin çok sayıda değişik atomdan yapıldığını savunuyorlardı. (Atom sözcüğü Yunancada "bölünemez" demektir.) Bu tartışma çağlar boyu iki taraf arasında gerçek bir tanıt olmadan sürüp gitti, ta ki 1803 yılında Britanyalı kimyacı ve fizikçi John Dalton'un (Daltın) kimyasal bileşiklerin her zaman belli oranlarda gerçekleşmesinin atomların molekül denen birimleri oluşturmak üzere biraraya gelmesiyle açıklanabileceğini işaret etmesine kadar. Yine de bu iki

düşünce akımı arasındaki tartışma atomcuların lehine bu yüzyılın ilk başlarına dek bir sonuca bağlanamadı. Bu konuya ilişkin en önemli fiziksel tanıtlardan biri Einstein tarafından sağlandı. Einstein 1905 yılında, özel görelik kuramı üzerindeki makalesinden birkaç hafta önce yazdığı başka bir makalede, sıvılardaki küçük toz parçacıklarının Brown (Bravn) devinimi olarak bilinen düzensiz ve gelişigüzel hareketlerinin, sıvı moleküllerinin toz parçacıkları ile çarpışmasından doğabileceğini belirtti.

Daha o zamanlar, atomların bölünmez olduğuna ilişkin kuşkular ortaya çıkmaya başlamıştı. Bundan birkaç yıl önce Cambridge'deki Trinity College'ın üyesi olan J.J. Thomson (Tamsın) kütlesi, en hafif atomun kütlesinin binde birinden az olan, elektron diye bir maddenin varlığını göstermişti. Bunu göstermek için bugünkü televizyon resim tüpüne benzeyen bir düzenek kullandı: sıcak bir metal fitilden çıkan elektronlar eksi yüklü oldukları için fosfor kaplı bir ekrana doğru elektrik alanı etkisiyle hızlandırılıyordu. Thomson, bunlar ekrana çarptıkları zaman ışık parıltılarının yayıldığını gözledi. Kısa bir süre sonra, bu elektronların, atomların kendi içlerinden çıktığı anlaşıldı. Ve 1911 yılında Britanyalı fizikçi Ernest Rutherford (Radırfırd) maddeyi oluşturan atomların gerçekten bir iç yapıları olduğunu gösterdi: atomlar, etrafında elektronların döndüğü, son derece küçük, artı yüklü çekirdeklerden oluşmaktaydılar. Rutherford bu sonucu, radyoaktif atomlarca yayınlanan artı yüklü alfa parçacıklarının atomlarla çarpıştığında nasıl saptırıldığını inceleyerek çıkardı.

İlk önceleri, atom çekirdeğinin elektronlar ve değişik sayıda proton denen artı yüklü parçacıklardan oluştuğu sanılıyordu. Proton, maddeyi oluşturan temel yapı taşı sanıldığı için Yunanca "birinci" anlamına gelen sözcükten alınmıştır. 1932 yılında, Rutherford'un Cambridge'den bir arkadaşı olan James Chadwick (Cedvik) çekirdekte, protonla aynı kütleye sahip ama elektrik yükü olmayan nötron adlı başka bir parçacığın bulunduğunu keşfetti. Chadwick bu buluşundan dolayı Nobel ödülünü kazandı ve Gonville ve Caius College'a başkan seçildi (şimdi benim bulunduğum

okul). Daha sonra diğer meslektaşlarıyla olan anlaşmazlıklardan dolayı buradan istifa etti. Harpten dönen genç öğretim görevlilerinin, bir sürü yaşlı öğretim görevlisini uzun süredir tuttukları mevkilerden oylama yoluyla uzaklaştırmalarından beri okulda tatsız bir anlaşmazlık süregelmekteydi. Bu benim dönemimden önceydi; ben okula, bu tatsızlıkların sona ermek üzere olduğu, benzer anlaşmazlıkların Nobel ödülü sahibi Sir Nevill Mott'u (Mat) istifaya zorladığı 1965 yılında katıldım.

Yirmi yıl önceye kadar proton ve nötronların temel parçacıklar oldukları sanılıyordu, ama protonların hızla diğer proton ve elektronla çarpıştıkları deneyler, onların daha da küçük parçacıklardan yapıldıklarını gösterdi. Bu parçacıklara, bu konuda yaptığı çalışmalarla 1969 Nobel ödülünü kazanan Caltech'li fizikçi Murray Gell-Mann (Gelman) tarafından kuvark adı verildi. Kuvark sözcüğünün kendi başına hiç bir anlamı yoktur. Kaynağı James Joyce'dan (Coys) bilmeceli bir alıntıdır: "Mastır Mark için üç kuvark."

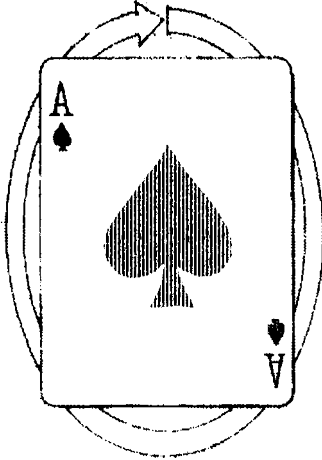
Kuvarkların değişik türleri vardır: aşağı, yukarı, garip, meftun, alt ve üst olarak adlandırılan en az altı "çeşni" kuvark olduğu düşünülmektedir. Her çeşni üç değişik "renkte" olabilir: kırmızı, yeşil, mavi (Bu nitelemenin salt sınıflandırma için olduğunu vurgulamak gerekir. Kuvarklar görünen ışığın dalga boyundan çok daha küçüktür ve bu yüzden bildiğimiz anlamda bir renkleri yoktur. Öyle görülüyor ki, çağdaş fizikçiler yeni parçacık ve fiziksel olayları adlandırırlarken hayal güçlerini öncekilerden daha çok kullanıyorlar, kendilerini artık Yunancayla kısıtlamıyorlar!) Bir proton ya da nötron her renkten bir tane olmak üzere üç kuvarktan oluşmuştur. Protonda iki yukarı kuvark ve bir aşağı kuvark bulunur; bir nötronda ise iki aşağı ve bir yukarı kuvark vardır. Diğer kuvarklardan (garip, meftun, alt ve üst) yapılmış başka parçacıklar yaratabiliriz ama bunların kütleleri çok büyük olacağı için hızla proton ve nötrona dönüşürler.

Şimdi biliyoruz ki, ne atomlar, ne de onların içindeki proton ve nötronlar bölünemez değillerdir. O zaman sorulması gereken soru

şu olmakta: gerçek temel parçacıklar, yani diğer başka her şeyin yapıldığı temel yapı taşları nelerdir? Işığın dalga boyu bir atomdan çok daha büyük olduğu için atomun içini, ona bakarak görmeyi bekleyemeyiz. Çok daha küçük dalga boylu bir şey kullanmak zorunda olduğumuz açık. Geçen bölümde gördüğümüz gibi, tanecik mekaniği bize parçacıkların aslında dalga olduğunu ve parçacığın enerjisi yükseldikçe dalga boyunun küçüldüğünü söylemektedir. Bu yüzden sorumuzun yanıtı, elimizin altında ne kadar çok parçacık enerjisi olduğuna bağlıdır, çünkü ne kadar küçük ölçeğe bakabileceğimizi ancak bu belirler. Bu parçacık enerjileri genellikle elektronvolt adı verilen bir birimle ölçülür. (Thomson'un elektronlarla yaptığı deneylerde, elektronları hızlandırmak için elektrik alanını kullandığını görmüştük. Bir elektronun, bir voltluk elektrik alanından kazandığı enerjiye bir elektronvolt denir.) On dokuzuncu yüzyılda, insanların parçacık enerjileri olarak ancak yanma gibi kimyasal tepkimelerden doğan birkaç elektronvoltu bildikleri zamanda, atomların en küçük birim oldukları sanılıyordu. Rutherford'un deneyinde, alfa parçacıklarının milyonlarca elektronvolt düzeyinde enerjileri vardı. Daha yakın geçmişte, elektromanyetik dalgaları kullanarak parçacıklara önce milyonlarca, sonra milyarlarca elektronvoltluk enerji bindirmeyi öğrendik. Artık, yirmi yıl önce temel parçacık sandıklarımızın, daha da küçük parçacıklardan oluştuklarını biliyoruz. Daha yüksek enerjilere doğru çıktıkça, acaba bunların daha da küçük parçacıklardan yapıldığını bulabilir miyiz? Bu, hiç kuşkusuz olanaklıdır, ama doğanın temel yapı taşları bilgisine sahip olduğumuza ya da ona çok yakın olduğumuza ilişkin bazı kuramsal nedenler gerçekten elimizde bulunmaktadır.

Geçen bölümlerdeki dalga/parçacık ikiliğini kullanarak, evrendeki her şeyi, ışık ve çekim de içinde olmak üzere, parçacıklar yoluyla betimleyebiliriz. Parçacıkların "dönme" denen bir özelliği vardır. Dönmenin ne olduğunu kavramanın bir yolu, parçacıkları bir eksen etrafında dönen topaçlar gibi düşünmektedir. Yalnız bu biraz yanıltıcı olabilir, çünkü tanecik mekaniğine göre parçacıkların kesin tanımlı eksenleri olamaz. Bir parçacığın dönmesi derken

a) DÖNME: 0





b) DÖNME: 1 c) DÖNME: 2

Şekil 5.1

ne kastettiğimiz, aslında o parçacığın değişik yönlerden nasıl göründüğüdür. 0-dönmeli bir parçacık noktaya benzer; hangi yönden bakarsak bakalım aynı görünür (Şekil 5.1-a). Öte yandan, 1- dönmeli parçacık oka benzer; değişik yönlerden değişik görünür (Şekil 5.1 b). Ancak tam bir tur (360 derece) döndürüldüğünde ilk görüntüsünü alır. 2- dönmeli bir parçacık ise iki uçlu oka benzer (Şekil 5.1-c). Yarım tur (180 derece) döndürüldüğünde aynı görünür. Benzer biçimde daha yüksek dönmeli parçacıklar bir tam turun daha küçük kesirleri kadar döndürüldüklerinde aynı görünürler. Buraya kadar her şey apaçık gibi ama şaşırtıcı bir gerçek şu ki, bazı parçacıklar tam bir tur döndürüldükleri zaman bile aynı görünmezler. Bunun için iki tam tur döndürülmeleri gerekir! Böyle parçacıklara 1/2- dönmeli parçacık denir.

Evrende bilinen bütün parçacıklar iki sınıfa ayrılabilir: evrende-

ki maddenin tümünü oluşturan 1/2 dönmeli parçacıklar ve daha sonra göreceğimiz gibi, madde parçacıkları arasındaki kuvvetleri doğuran 0, 1, ve 2- dönmeli parçacıklar. Madde parçacıkları Pauli'nin dışlama ilkesi denen bir ilkeye uyarlar. Bu ilke 1925 yılında Wolfgang Pauli (Pauli) adında bir Avusturyalı fizikçi tarafından bulundu. Bu buluşuyla 1945 yılında Nobel ödülünü kazanan Pauli her şeyiyle bir kuramsal fizikçiydi: aynı şehirde bulunmasının bile yapılan deneyin yanlış sonuçlanmasına yol açtığı söylenir! Pauli'nin dışlama ilkesine göre iki benzer parçacık aynı duruma sahip olamazlar, yani belirsizlik ilkesinin tanımladığı sınırlar içinde hem aynı konumda, hem de aynı hızda bulunamazlar. Dışlama ilkesi, madde parçacıklarının 0,1 ve 2- dönmeli kuvvet parçacıkları etkisi altında kalarak neden çok yoğun bir konuma çökmediklerini açıkladığı için çok önemlidir: şöyle ki, eğer madde parçacıkları birbirine çok yakın konumdalarsa, aynı hıza sahip olamayacakları için aynı durumda uzun süre kalamayacaklardır. Eğer dünya, dışlama ilkesi olmadan yaratılsaydı kuvarklar, birbirinden ayrı ve kesin tanımlı proton ve nötronları oluşturamazdı. Proton ve nötronlar da elektronlarla birlikte atomları oluşturamazdı. Hepsi, oldukça düzgün, yoğun bir "çorba" oluşturmak üzere bir araya çökerdi.

Elektronun ve diğer 1/2- dönmeli parçacıkların uygun bir tanımı, 1928 yılında Paul Dirac tarafından, buna ilişkin bir kuram ortaya konana dek yapılamamıştı. Paul Dirac daha sonra Cambridge Üniversitesi Matematik bölümünde Lukasgil Profesörlüğe yükseldi (bir zamanlar Newton'ın, şimdi de benim sahip olduğum ünvan). Dirac'ın kuramı, tanecik mekaniği ve genel görelik kuramının her ikisiyle de uyumlu olan kendi türünden ilk kuramdı. Elektronun neden 1/2 dönmeli olduğunu, yani neden tam bir tur döndürüldüğünün de aynı görünmediğini ama ancak iki tam tur döndürüldüğünde aynı göründüğünü matematiksel olarak açıklamaktaydı. Bu kuram, elektronun, karşı-elektron ya da pozitron denen bir ortağının bulunması gerektiğini de kestirmekteydi. Pozitronun 1932 yılında keşfi, Dirac'ın kuramını doğrulayarak, onun 1933 yılında Nobel fizik ödülü almasına yol açtı. Şimdi her parçacığın bir-

leşerek yok olacağı bir karşıparçacığı olduğunu biliyoruz. (Kuvvet taşıyan parçacıkların karşıparçacıkları ise kendileriyle aynıdır.) Karşıparçacıklardan oluşmuş karşı dünyalar ve karşıinsanlar olabilir. Ama karşıkendinizle karşılaştığınız zaman sakın el sıkışmayın, yoksa her ikiniz de bir ışık parıltısı içinde yok olursunuz! Etrafımızda neden karşıparçacıktan daha çok parçacık olduğu sorusu çok önemlidir; ona bu bölümde tekrar döneceğim.

Tanecik mekaniğinde madde parçacıkları arasındaki kuvvet etkileşimlerinin 0,1, ve 2 gibi tam sayı dönmeli kuvvet parçacıkları tarafından taşındığı var sayılır. Olay şöyle açıklanabilir: elektron ya da kuvark gibi bir madde parçacığı, bir kuvvet taşıyan parçacık yayınlar. Bu yayınlamanın tepkisi madde parçacığının hızını değiştirir. Kuvvet taşıyan parçacık daha sonra bir başka madde parçacığı ile çarpışır ve onun tarafından soğurulur. Bu çarpışma ikinci parçacığın hızını değiştirir, sanki iki madde parçacığı arasında bir kuvvet varmış gibi.

Kuvvet taşıyan parçacıkların önemli bir özelliği dışlama ilkesine uymamalarıdır. Bu, değiş tokuş edilen kuvvet parçacığı sayısının sınırsız olduğu, böylece çok büyük kuvvetleri doğurabilecekleri anlamına gelir. Kuvvet taşıyan parçacıkların kütlelerinin büyük olması durumunda, onları yayınlayıp, uzun mesafeler boyunca değiş tokuş etmek zor olur. Böyle durumlarda taşıdıkları kuvvetler, kısa menzillidir. Öte yandan, kuvvet taşıyan parçacıkların kendi kütleleri yoksa uzun menzilli olabileceklerdir. Madde parçacıkları arasında değiş tokuş edilen kuvvet taşıyan parçacıklara, parçacık dedektörü tarafından algılanamadıkları için "gerçek" parçacıktan farklı olarak "sezilgen" parçacıklar denir. Onların varolduklarını ölçülebilir etkiler yarattıkları için biliyoruz, yani onları sezebiliyoruz: madde parçacıkları arasındaki kuvvetleri doğuruyorlar. 0, 1, ve 2- dönmeli parçacıklar bazı koşullar altında gerçek parçacıklar gibi varolup doğrudan algılanabilirler. O zaman bize, bir klasik fizikçinin dalga diyeceği türden, örneğin ışık ya da çekim dalgası gibi görünürler. Madde parçacıkları birbirleriyle kuvvet taşıyan sezilgen parçacıklar değiş tokuş ederek etkileştikleri zaman kuvvet

taşıyan parçacıklar yayınlanabilir. (Örneğin, iki elektron arasındaki elektriksel itme, hiçbir zaman algılanamayan sezilgen fotonlardan dolayıdır; ama elektronlardan biri diğerinin yakınından geçecek olursa, ışık dalgası biçiminde algılayacağımız gerçek fotonlar yayınlanabilir.)

Kuvvet taşıyan parçacıklar, taşıdıkları kuvvetin büyüklüğüne ve etkileşim yaptıkları parçacıklara göre dörde ayrılabilirler. Yalnız bunun yapay bir bölünme olduğunu vurgulamak gerekir. Kısmi kuramların oluşturulması için uygun gelebilir ama bundan daha derin bir anlam aranmamalıdır. Çoğu fizikçiler, eninde sonuda bu dört kuvveti tek bir kuvvetin değişik görünüşleri olarak açıklayabilecek bir kuram bulmayı ümit etmektedirler. Gerçekten, bugün çoğuna göre fiziğin asıl amacı budur. Yakın geçmişte, bu dört değişik kuvvetten üçünü birleştirmek üzere başarılı adımlar atıldı; bunları bu bölümde anlatacağım. Dördüncüsünün, yani çekim kuvvetinin birleştirilmesini ise daha sonraya bırakacağız.

Bu dört kuvvetin ilki çekim kuvvetidir. Bu kuvvet evrenseldir, yani her parçacık, kütlesi ve enerjisine bağlı olarak ondan etkilenir. Çekim kuvveti, dört kuvvetin içinde büyük farkla en zayıf olanıdır; o kadar zayıftır ki, eğer şu iki önemli özelliği olmasaydı onu hiç duymazdık; büyük uzaklıklardan etki edebilir ve hiçbir zaman itici olmaz. Bu demektir ki, dünya ve güneş gibi iki büyük cismin tek tek parçacıkları arasındaki çok zayıf çekim kuvvetleri birbiri üzerine eklenerek çok belirgin kuvvetler doğurabilir. Diğer üç kuvvet ya kısa menzillidir ya da bazen çekici bazen itici oldukları için birbirlerinin etkisini yok ederler. Çekim alanına tanecik gözlükleri arkasından bakarsak, iki madde parçacığı arasındaki çekim kuvvetinin graviton denen 2-dönmeli bir parçacık tarafından taşındığını zihnimizde canlandırabiliriz. Bu parçacığın kendine özgü bir kütlesi olmadığı için taşıdığı kuvvet çok uzun menzillidir. Dünya ile güneş arasındaki çekim kuvveti, bu iki cismi oluşturan parçacıkların aralarında graviton değiş tokuşu olarak görülebilir. Değiş tokuş edilen parçacıklar gerçek olmamalarına karşın ölçülebilir bir etki yaratırlar-dünyanın güneş çevresinde dönmesine neden olurlar!

Gerçek gravitonlar klasik fizikçi deyimiyle çekim alanlarını doğururlar. Bunlar o kadar zayıftır ki, henüz algılanamamışlardır.

Kuvvetlerin ikincisi, elektron ve kuvark gibi elektrik yüklü parçacıklarla etkileşen ama graviton gibi yüksüz parçacıklarla etkileşmeyen elektromanyetik kuvvetidir. Bu kuvvet çekim kuvvetinden çok daha büyüktür: örneğin, iki elektron arasındaki elektromanyetik kuvvet, aralarındaki çekim kuvvetinden yaklaşık bir milyon kere milyon (1'den sonra 42 sıfır) büyüktür. Ayrıca, elektrik yükü, artı ve eksi olmak üzere iki türlüdür. İki artı yük arasındaki ve iki eksi yük arasındaki kuvvet iticidir, ama değişik tür yükler arasında bu kuvvet çekici olur. Dünya ya da güneş gibi büyük bir cisim yaklaşık eşit sayıda artı ve eksi yük içerir. Böylece, tek tek parçacıklar arasındaki çekici ve itici kuvvetler birbirlerini hemen hemen götürürler ve geriye çok küçük bir elektromanyetik kuvvet kalır. Buna karşın, atom ve moleküllerin küçük dünyasında baskın olan, elektromanyetik kuvvettir. Atom çekirdeğindeki eksi yüklü elektronlarla artı yüklü protonlar arasındaki elektromanyetik çekim, kütlesel çekim kuvvetinin dünyayı güneş etrafında döndürmesine benzer biçimde, elektronların atom çekirdeği etrafında dönmesine neden olur. Elektromanyetik çekimi, foton denen çok sayıda yüksüz 1- dönmeli sezilgen parçacığın değiş tokuş edilmesi olarak kafamızda canlandırabiliriz. Yinelersek, karşılıklı değiştirilen bu fotonlar sezilgen parçacıklardır. Ancak, bir elektron bulunabileceği yörüngelerden birini terkedip, çekirdeğe yakın bir diğerine geçerse, enerji ortaya çıkar ve bir gerçek foton yayınlanır. Bu, uygun bir dalgaboyunda ise insan gözüyle ya da fotoğraf filmi gibi bir foton dedektörü ile algılanabilir. Benzer biçimde, gerçek bir foton, bir atomla çarpışacak olursa, yakın yörüngedeki bir elektronu daha uzak bir yörüngeye kaydırabilir. Bu olay sırasında enerjisi kullanılan foton soğurulur.

Üçüncü kategori, radyoaktiviteyi doğuran ve bütün 1/2 dönmeli madde parçacıklarına etkiyen ama foton ya da graviton gibi parçacıklara etkilemeyen zayıf çekirdek kuvveti denen kuvvetidir. Zayıf çekirdek kuvveti 1967 yılına kadar tam olarak anlaşılmamıştı, taki

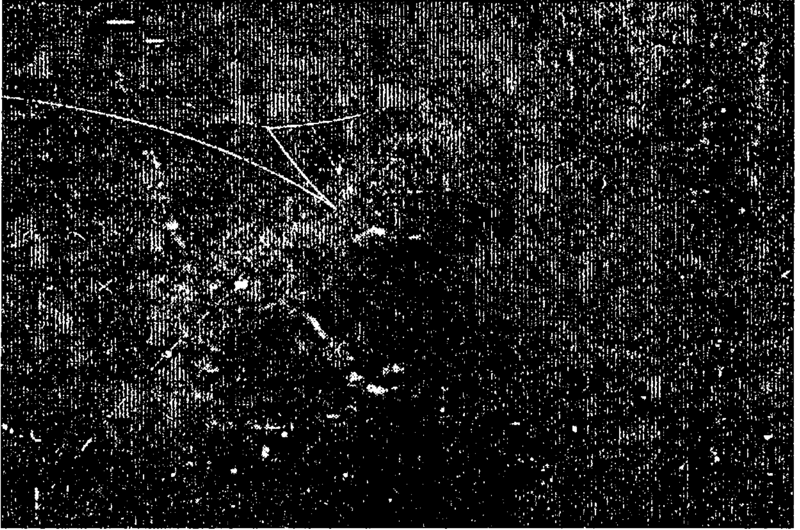
Londra Imperial College'dan Abdus Salam (Salam) ve Harvard'dan Steven Weinberg (Vaynbörg), bu etkimeyi elektromanyetik kuvvetle birleştiren kuramları, tıpkı Maxwell'in bundan yüz yıl önce elektrik ve manyetizma kuvvetlerini birleştirmesi gibi, ortaya atıncaya dek. Salam ve Weinberg fotona ek olarak, topluca "kütleli vektör boson"lar olarak bilinen ve zayıf kuvveti taşıyan ve üç değişik tür daha 1- dönmeli parçacık olduğunu önerdiler. Bunlara W + (dabılyu artı), W-(dabılyu eksi), Z0 (ze sıfır), dendi ve her birisinin yaklaşık 100 GeV kütlesi vardı. (GeV kısaca gigaelektronvolt ya da bir milyar elktronvolt demektir). Weinberg-Salam kuramı kendiliğinden bakışım bozulması denen bir özellik gösterir. Yani, düşük enerji düzeylerinde birbirinden tamamen farklıymış gibi görünen parçacıklardır. Yüksek enerjilerde bütün bu parçacıklar benzer biçimde davranırlar. Bu biraz, rulet masasındaki rulet bilyesinin davranışına benzer. Yüksek enerjilerde (rulet tekerleği hızla döndürüldüğünde) bilye esas olarak tek bir biçimde davranır-tekerleğin etrafında döner durur. Ama tekerlek yavaşladıkça bilyenin enerjisi azalır ve sonunda tekerlekteki otuzyedi tane bölümden birine düşer. Başka bir deyişle, düşük enerjilerde bilyenin bulunabileceği otuzyedi değişik durum vardır. Eğer, herhangi bir nedenle, bilyeyi sadece düşük enerjilerde gözlemleyebiliyorsak değişik bilye olduğu sonucunu çıkarabiliriz!

Weinberg-Salam kuramına göre, 100 GeV'un çok üstündeki enerjilerde bu üç yeni parçacık ve fotonlar aynı biçimde davranırlar. Buna karşın daha çok karşılaştığımız düşük enerji düzeylerinde ise parçacıklar arasındaki bu bakışım bozulur. W+, W- ve Zo, büyük kütleler edinerek taşıdıkları kuvvetlerin menzilini düşürürler. Weinberg ve Salam bu kuramı ortaya attıkları zaman onlara pek inanan olmadı. Parçacık hızlandırıcıları da henüz, W +. W - ve Zo parçacıklarının oluşturmak için gerekli 100 GeV enerji düzeylerine ulaşabilecek kadar güçlü değillerdi. Ama, bundan sonraki on yıl içinde kuramın düşük enerji düzeyleri için kestirdikleri deneylerle o kadar güzel uyuştu ki, Salam ve Weinberg'e, elektromanyetik ve zayıf çekirdek kuvvetlerini birleştiren benzer kuramları öneren

Harvard'lı Sheldon Glashow (Glaşov) ile birlikte 1979 Nobel fizik ödülü verildi. Nobel komitesi 1983 yılında, CERN'de (Avrupa Çekirdek Araştırma Merkezi) fotonun üç kütleli ortağının, öngörülen kütleleri ve öbür özellikleri ile uyuşan biçimde ortaya çıkarılışıyla, yapmış olabileceği bir yanlışlıktan dolayı duyacağı büyük bir utançtan kurtarıldı. Birkaç yüz fizikçiden oluşan bir ekibe önderlik ederek bu buluşu gerçekleştiren Carlo Rubbia'ya (Rubia), kullanılan karşıparçacık depolama sistemini geliştiren CERN mühendisi Simon van der Meyer (Vandenmeyr) ile birlikte 1984 Nobel ödülü verildi. (Bugünlerde deneysel fizik dallarında kendini göstermek en tepede olmadıkça çok zor!)

Dördüncü kuvvet, proton ve nötronların içindeki kuvarkları birbirine bağlayan ve proton ve nötronları atom çekirdiğinde bir arada tutan güçlü çekirdek kuvvetidir. Bu kuvvetin, gluon denen ve ancak kendisi ve kuvarklarla etkileşen diğer bir 1-dönmeli parçacık tarafından taşındığı sanılıyor. Büyük çekirdek kuvvetinin "kapatma" denen tuhaf bir özelliği vardır: buna göre parçacıklar birbirlerine, her zaman renksiz sonuçlanacak birleşimlerle bağlanırlar. Örneğin, bir kuvark hiçbir zaman kendi başına bulunamaz, çünkü o zaman bir renginin olması gerekir (kırmızı, yeşil veya mavi). Bunun yerine, kırmızı bir kuvark, bir yeşil bir mavi kuvarkla gluonlar dizisiyle bağlanır (kırmızı+yeşil+mavi=beyaz). Böyle bir üçlü, proton ya da nötronu oluşturur. Başka bir olası diziliş de kuvark ve karşı-kuvark çiftinden oluşur (kırzımı+karşıkırmızı veya yeşil +karşıyeşil veya mavi+karşımavi= beyaz). Böyle bileşimlerin ortaya çıkardıkları parçacıklara meson denir. Kuvarklar ve karşıkuvarklar birbirlerini yok ederek elektron ve diğer parçacıklara dönüşeceklerinden dolayı mesonlar kararsızdırlar. Kapatma ilkesi, benzer biçimde gluonların da tek başlarına bulunmalarına izin vermez, çünkü onların da renkleri vardır. Gluonlar, bu yüzden ancak beyaz rengi doğuracak renk topluluğu içinde bulunabilirler. Böyle bir topluluk, yapışkantop denen kararsız bir parçacığı oluşturur.

Kapatma ilkesinin kuvark ya da gluonlaın yalın biçimde gözlemlenmesine izin vermemesi, kuvark ve gluon parçacıkları kav-



Şekil 5.2

Yüksek enerjili bir proton ve karşı-proton çarpışarak, hemen hemen özgür bir çift kuvark oluşturur.

ramının tümünü biraz fizikötesi yapıyor. Ama güçlü çekirdek kuvvetinin sonuşmaz özgürlük denen öyle bir başka özelliği vardır ki, kuvark ve gluon kavramlarına kesinlik kazandırmaktadır. Olağan enerji düzeylerinde güçlü çekirdek kuvveti gerçekten çok kuvvetlidir ve kuvarkları birbirine sıkıca bağlar. Buna karşın büyük hızlandırıcılarla yapılan deneylerin gösterdiğine göre yüksek enerjilerde bu kuvvet çok zayıflar ve bundan dolayı kuvark ve gluonlar sanki özgür parçacıklarmış gibi davranmaya başlarlar. Şekil 5-2 yüksek enerjili proton ve karşıproton arasındaki çarpışmayı gösteren bir fotoğraftır. Bu çarpışma sonucu özgür sayılabilecek birkaç kuvark yaratılmış ve resimde görülen izlerin oluşmasına yol açmıştır.

Elektromanyetik kuvvet ile zayıf çekirdek kuvvetinin başarılı bir biçimde birleştirilmesi, bu iki kuvvetin güçlü çekirdek kuvvetiyle birleştirilip, büyük birleşik kuram (BBK) diye adlandırılan yeni bir kuram oluşturma çabalarına yol açtı. Buna verilen isim oldukça abartmalıdır: sonuçta ortaya çıkan kuramlar ne o kadar bü-

yüktür, ne de, çekim kuvvetini kapsamadıkları için, tamamen birleşiktir. Değerleri önceden kuramdan çıkartılamayan ama yapılan deneylere uyacak biçimde seçilmiş önemli sayıda parametreyi içerdikleri için, kuram olarak eksiksiz de değillerdir. Her şeye rağmen, bunlar eksiksiz bir birleşik kurama doğru atılmış adımlar olabilir. BBK'ların dayandığı temel düşünce şudur: yukarıda sözü edildiği gibi, büyük çekirdek kuvveti yüksek enerjilerde zayıflar. Öte yandan, elektromanyetik ve zayıf kuvvetler, sonuşmaz özgür olmadıkları için yüksek enerjilerde kuvvetlenirler. Büyük birleşim enerjisi denen belli birçok yüksek enerji düzeyinde bu üç kuvvet eşitlenir, böylece tek bir kuvvetin değişik görünümleri olarak yorumlanabilirler. BBK'lar, bu enerji düzeylerinde kuvark ve elektron gibi 1/2- dönmeli değişik parçacıkların temel olarak birbirinin aynı olacağını, böylece bir başka birleşmenin daha elde edileceğini kestirmekteler.

Büyük birleşim enerjisinin değeri pek bilinmiyor ama en azından milyon kere milyar GeV olması gerektiği tahmin ediliyor. Bugünkü kuşak parçacık hızlandırıcıları, parçacıkları birbirleriyle ancak yüz GeV düzeyinde çarpıştırabilmekte ve bunu birkaç bin GeV düzeyine çıkaracak makineler planlanmaktadır. Ama parçacıkları büyük birleşim enerjisine çıkarabilecek kadar güçlü bir makinenin güneş sistemi kadar büyük olması gerektiğini biliyoruz, üstelik bugünkü ekonomik ortamda buna mali kaynak bulmak da pek olanaklı değil. Bu yüzden büyük birleşim kuramları doğrudan laboratuvarlarda sınayamıyoruz. Elbette aynı elektromanyetik ve zayıf kuvvet kuramlarında olduğu gibi, bu kuramın da sınanabilecek düşük enerjili sonuçları bulunmaktadır.

Bunların içinden en ilginci, sıradan maddenin çoğunluğunu oluşturan protonların kendiliğinden karşı elektron gibi daha hafif parçacıklara dönüşebileceğinin kuram tarafından öngörülmesidir. Böyle bir olayın gerçekleşebilmesinin nedeni, büyük birleşim enerjisi düzeyinde bir kuvarkla karşıelektron arasında bir ayrım olmamasıdır. Protonun içindeki üç kuvarkın normal olarak karşıelektronlara dönüşecek enerjileri yoktur ama belirsizlik ilkesine gö-

re bu enerjilere kesin bir değer biçemeyeceğimizden, arada sırada bir tanesi bu geçimi sağlamaya yetecek kadar enerji kazanabilir. O zaman proton bozunur. Bir kuvarkın bu iş için yeterli enerji kazanma olasılığı o kadar düşüktür ki, en azından bir milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon yıl (1'den sonra otuz sıfır) beklememiz gerekir. Bu ise büyük patlamadan bu yana geçen yaklaşık on milyar yıldan (1'den sonra on sıfır) çok daha uzun bir süredir. Bundan dolayı kendiliğinden proton bozunmasının hiçbir zaman deneysel olarak sınanamayacağı düşünülebilir Ama, çok sayıda proton içeren büyük miktarda maddeyi gözlemleyerek bozunmayı algılama olasılığını artırabiliriz. (Eğer, örneğin 1'den sonra otuz bir tane sıfır sayıda proton, bir yıl süresince gözlemlenebilirse, en basit BBK'a göre birden fazla proton bozunmasının algılanması beklenir.)

Buna benzer birkaç deney sürdürülmüş ama hiçbirinde proton ya da nötron bozunmasının belirgin tanıtı olacak bir sonuç alınamamıştır. Deneylerden bir tanesi sekiz bin ton su kullanarak Ohio'daki Morton tuz madeninde gerçekleştirilmiştir. (Böylece kozmik ışınların neden olduğu, proton bozunmasıyla karıştırılabilecek diğer olaylardan kaçınılmak istenmiştir.) Deneyde kendiliğinden proton bozunmasına hiç raslanmadığı için, protonun olası yaşam süresinin on milyon yıldan (1'den sonra otuz bir sıfır) daha fazla olması gerektiği sonucu çıkartılabilir. Bu, en basit BBK'ın kestirdiği yaşam süresinden daha uzundur; ama biçilen yaşam süresinin daha da uzun olduğu daha ayrıntılı kuramlar da vardır. Hele onları sınamak için daha da büyük miktarda madde içeren daha duyarlı deneyler gerekecektir.

Kendiliğinden proton bozunmasını gözlemlemek son derece zor olmasına karşın, varlığımızın ta kendisi, evrenin başlangıcında en doğal durum olarak düşünülebileceğimiz kuvarkların karşıkuvarklardan daha fazla olmadığı ilk durumdan, protonların, ya da daha temelde kuvarkların oluştuğu geriye doğru bir sürecin sonucu olabilir. Dünya üzerindeki madde başlıca, kendileri kuvarklardan oluşan proton ve nötronlardan oluşmuştur. Fizikçilerin büyük par-

çacık hızlandırıcılarını kullanarak ortaya çıkarttıklarının dışında, karşıkuvarktan oluşmuş karşıproton ya da karşınötron hiç yoktur. Kozmik ışınlardan elde ettiğimiz tanıtlara göre, bu yıldız kümemizdeki bütün madde için geçerlidir: yüksek enerjili çarpışmalarda ortaya çıkan az sayıda parçacık/karşıparçacık çiftlerinin dışında karşıproton ya da karşınötronlara rastlanmaz. Eğer yıldız kümemizde geniş karşımadde bölgeleri bulunsaydı, parçacıkların, karşıparçacıklarla çarpışarak birbirlerini yokedecekleri ve yüksek enerjiyle ışıyacakları iki bölge arasındaki sınırlardan büyük miktarda ışıma gözlememiz gerekirdi.

Diğer yıldız kümelerindeki maddenin proton ve nötrondan mı, yoksa karşıproton ve karşınötrondan mı oluştuğuna ilişkin elimizde doğrudan tanıt yok, ama birinden biri doğru olmalı. Yine çarpışmalardan dolayı çok miktarda ışıma gözlememiz gerekeceği için tek bir yıldız kümesinde ikisinin karışımının olmasını bekleyemeyiz. Şu halde, tüm yıldız kümelerinin, karşıkuvark yerine kuvarklardan oluştuklarına inanıyoruz: bazı yıldız kümelerinde madde, bazılarında ise karşımadde olması pek akla yatkın değil.

Niçin, karşıkuvarklardan çok daha fazla sayıda kuvark olması gerekiyor? Niçin her ikisinden de eşit sayıda bulunmuyor? Aslında sayılarının eşit olmayışı, bizim açımızdan çok talihli bir olay, yoksa bütün kuvark ve karşıkuvarklar birbirilerini yok ederek, geriye madde yerine ışıma dolu bir evren bırakırlardı. O zaman ne bir galaksi, ne bir yıldız, ne de üzerinde insan yaşamının serpileceği bir gezegen ortaya çıkamazdı. Neyseki BBK'lar, evren eşit sayıda kuvark ve karşıkuvarklarla başlamış olsa bile, kuvarkların şimdi niye daha çok olduğunu bize açıklıyorlar. Gördüğümüz gibi, BBK'lar yüksek enerjilerde kuvarkların karşı-elektronlara dönüşebileceğini söylemekteler. Ayrıca geriye doğru süreçlere de, yani kuvarkların elektronlara, elektron ve karşıelektronların, kuvark ve karşı kuvarklara dönüşmesine izin verirler. Evrenin daha ilk başlarında, parçacık enerjilerinin, son derece yüksek ısıdan dolayı bu tür dönüşümlere yol açacak denli yüksek olduğu bir zaman vardı. Ama bu niçin kuvarkların karşıkuvarklardan daha çok olmasına yol aç-

sın? Bunun nedeni fizik yasalarının parçacıklar ve karşıparçacıklar için aynı olmamasında yatmaktadır.

1956 yılına kadar fizik yasalarının, C, P, T denen bakışımların her birine uyduğu sanılıyordu. C-bakışımı fizik yasalarının parçacık ve karşıparçacıklar için aynı olduğu anlamına gelmektedir. P-bakışımı, yasaların her durum ve onun aynadaki görüntüsü için aynı olmasıdır (ekseni etrafında sağa dönen bir parçacığın aynadaki görüntüsü sola dönen bir parçacıktır). T- bakışımı ise, bütün parçacık ve karşıparçacıkların devinim yönlerini değiştirirseniz dizgenin başlangıç anlarına dönüleceği anlamına gelir; yani zamanın ileri ya da geri akış yönünde fizik yasaları aynıdır.

1956'da TsungDai Lee (Li) ve Chen Ning Yang (Yan) adlı iki Amerikalı zayıf kuvvetin P- bakışımına uymadığını ileri sürdüler. Başka bir deyişle, zayıf kuvvetin evreni, aynadaki görüntüsünün gelişmesinden daha değişik bir biçimde geliştirmesi gerekmekteydi. Aynı yıl bir meslektaşları Chien-Shiun Wu (Vu), bu önermenin doğruluğunu kanıtladı. Bunu, radyoaktif atomların çekirdeklerini manyetik alanda aynı yönde dönecek biçimde dizerek ve elektronların belli bir yönde diğer yönden daha çok yayınlandıklarını göstererek gerçekleştirdi. Bunu izleyen yıl, Lee ve Yang'a düşüncelerinden dolayı Nobel Ödülü verildi. Daha sonra, zayıf kuvvetin C-bakışımına da uymadığı bulundu. Yani, karşıparçacıklardan oluşmuş bir evrenin bizimkinden daha değişik davranması gerekmekteydi. Yine de, zayıf kuvvet CP- bileşik bakışımına uyar gibi görünüyordu. Yani her parçacık kendi karşıparçacığı ile yer değiştirirse, evren aynadaki görüntüsü gibi gelişmeliydi! 1964 yılında, J.W. Cronin (Kronin) ve Val Fitch (Fiç) adlı iki Amerikalı, K-meson denen parçacıkların bozunmasının CP- bakışımına bile uymadığını gösterdiler. Cronin ve Fitch sonuç olarak, bu çalışmalarından dolayı 1980 yılında Nobel Ödülü'nü aldılar. (Evrenin bizim sandığımız kadar basit olmadığını gösterenlere ne kadar da çok Nobel Ödülü vermiş!)

Hem tanecik mekaniğine, hem de göreliğe uyan yasaların CPT-bileşik bakışımına da uyması gerektiğini belirten bir matematiksel

teorem vardır. Başka bir deyişle, eğer parçacıklar karşıparçacıklar ile yer değiştirir, evrenin aynadaki görüntüsü alınır ve zamanın da yönü değiştirilirse evrenin aynı şekilde davranması gerekir. Buna karşın, Cronin ve Fitch gösterdiler ki, parçacıklar ile karşıparçacıklar yer değiştirir, daha sonra evrenin aynadaki görüntüsü alınır fakat zamanın yönü değiştirilmezse, evrenin davranış biçimi aynı olmaz. Şu halde, zamanın yönü değiştirilirse fizik yasaları da değişmelidir, çünkü bu yasalar T- bakışımına uymazlar.

Şurası kesin ki, ilk evren T- bakışımına uymuyordu: zaman ileri doğru aktıkça evren genişlemektedir, eğer geriye aksaydı evren büzülecekti. T- bakışımına uymayan kuvvetler olduğu için, evren genişledikçe bu kuvvetlerin, elektronların karşıkuvarklara dönüşmesinden daha çok karşıelektronların kuvarklara dönüşmesini gerektirdiği sonucu ortaya çıkar. O zaman, evren genişleyip soğudukça karşıkuvarklar, kuvarklardan daha çok kuvark olduğu için, geriye bir miktar kuvark kalacaktır. Bugün gördüğümüz ve bizi oluşturan madde işte budur. Öyleyse bizim varlığımızın ta kendisi, salt niteliksel olsa bile, büyük birleşik kuramların bir doğrulaması olarak görülebilir; belirsizlikler öyledir ki, geriye kalan kuvarkların sayısını kestirmek, hatta geriye kalanların kuvark mı yoksa karşıkuvark mı olacağını söylemek olanaksızdır. (Geriye kalanlar karşıkuvark olsaydı, kuvarklara karşıkuvark, karşıkuvarkalara da kuvark deyip işin içinden çıkardık).

Büyük birleşik kuramlar kütlesel çekim kuvvetini içermezler. Bunun pek o kadar önemi de yoktur, çünkü kütlesel kuvvet o kadar zayıftır ki, temel parçacıklar ya da atomlarla uğraşırken onun etkisi çoğu kez yok sayılabilir. Ama, hem uzun menzilli ve hem de hiçbir zaman çekici oluşu, etkilerinin üst üste ekleneceği anlamına gelir. Bu yüzden, yeterince çok sayıda parçacık için kütlesel çekim kuvveti diğer kuvvetlerden baskın olabilir. Evrenin evrimini belirleyenin kütlesel çekim kuvveti olmasının nedeni budur. Yıldız büyüklüğündeki nesneler için bile kütlesel kuvvetin çekimi diğer kuvvetlere baskın çıkarak yıldızın kendi üstüne çökmesine neden olabilir. Benim 1970'lerdeki çalışmam böyle yıldız çökmelerinden oluşan

kara delikler ve onların etrafındaki yoğun kütlesel çekim alanı üzerinde odaklanmıştı. Bizi tanecik mekaniğinin ve genel göreliğin birbirlerini nasıl etkilediklerinin ilk ipuçlarına, daha ileride çekimin tanecik kuramına kısa bir göz atışa götürecek olan işte buydu.

6

KARA DELİKLER

"Kara delik" terimi oldukça yenidir. İlk kez 1969'da Amerikalı bilimci John Wheeler (Whillır) tarafından, en az iki yüzyıl öncesine dayanan bir düşüncenin görsel tanımı için ortaya atılmıştır. O eski zamanlarda ışığa ilişkin iki kuram vardı: biri Newton'ın desteklediği, ışığın parçacıklardan oluştuğu yolundaki kuram, öteki ise dalga kuramı. Şimdi her iki kuramın da doğru olduğunu biliyoruz. Tanecikler mekaniğinin dalga/parçacık ikiliğine göre, ışık hem dalga hem de parçacık olarak ele alınabilir. Işığın dalgalardan oluştuğu yolundaki kurama göre, kütlesel bir çekim kuvveti etkisi altında ışığın nasıl davranacağı açık değildir. Ama ışık, parçacıklardan oluşmuşsa, bir top güllesi, roket ya da gezegenler gibi çekimden etkilenmesini bekleyebiliriz. İlkin ışık parçacıklarının sonsuz hızda gittiği ve böylece çekim kuvvetinin onları yavaşlatamayacağı düşünüldü, ancak Roemer'in ışığın sonlu hızda gittiğini bulmasıyla çekimin önemli bir etkisi olacağı ortaya çıktı.

Bu varsayım üzerine, Cambridge'de hoca olan John Michell (Miçıl) 1738'te Londra Krallık Derneği'nin Felsefe Yazışmaları dergisindeki makalesinde, yeterince kütlesi olan yoğun bir yıldızın, ışığın ondan kaçamayacağı şiddette bir çekim alanı olacağına işaret etti. Yıldızın yüzeyinden çıkacak herhangi bir ışık, daha pek çok uzaklaşmadan yıldızın kütlesel çekimiyle geri dönecekti. Mic-

hell, bu türden çok sayıda yıldız olabileceğini öne sürdü. Işıkları bize ulaşamayacağından onları göremesek de kütlesel çekimlerini algılayabilecektik. Böyle nesnelere bugün kara delik diyoruz çünkü gerçekten ve uzayda kara boşluklar onlar. Benzeri bir sav, birkaç yıl sonra Fransız bilimcisi Marki Laplace tarafından, anlaşıldığı kadarıyla Michell'dan bağımsız olarak öne sürüldü. Çok ilginçtir ki bu, Laplace'ın **Dünyanın Düzeni** adlı kitabının yalnızca ilk iki basımında yer aldı. Laplace, daha sonraki basımlardan bunu çıkardı; belki de bir deli saçması olduğuna karar vermiştir. (Ayrıca ışığın parçacık kuramı ondokuzuncu yüzyılda gözden düştü; herşey dalga kuramıyla açıklanabilecek gibiydi ve dalga kuramına göre ışığın çekim kuvvetinden etkileneceği pek açık değildi.)

Aslında, Newton'ın çekim kuramında ışığı top gülleleri olarak ele almak pek de tutarlı değil, çünkü ışığın sabit bir hızı var. (Yeryüzünden yukarı doğru attığımız top güllesi yerçekimi etkisiyle yavaşlayacak ve sonunda durup geri düşecektir; oysa bir foton, yukarı doğru sabit bir hızla gideduracaktır. O halde New-toncıl çekim, ışığı nasıl oluyor da etkilemiyor?) Kütlesel çekim kuvvetinin ışığı etkilemesini açıklayan tutarlı bir kuram, Einstein 1915'te genel göreliği ortaya atıncaya dek bulunamadı. Hele, kuramın büyük yıldızlara ilişkin öngörülerinin anlaşılabilmesi için daha çok zaman geçmesi gerekti.

Bir kara deliğin nasıl oluşabileceğini anlamak için, ilkin bir yıldızın yaşam döngüsüne ilişkin bilgi edinmemiz gerekir. Bir yıldızın oluşumu, büyük bir miktar gaz (çoğunlukla hidrojen gazı) kütlesel çekim kuvveti etkisinde kendi üstüne çökmesiyle başlar. Gaz kütlesi büzüştükçe, atomları gittikçe daha sık ve daha büyük hızlarla birbirlerine çarpar ve böylece gaz ısınır. Sonunda gaz öyle sıcak olur ki, hidrojen atomları çarpışınca sıçrayacakları yerde birleşerek helyum atomları oluştururlar. Denetim altında patlatılan bir hidrojen bombasına benzeyen bu reaksiyonda salınan ısı, yıldıza parlaklığını verir. Bu fazladan ısı aynı zamanda gazın basıncını artırarak, çekim kuvvetini dengeler ve gazın büzüşmesi durur. Bu, biraz balonu andırır-balonu genleştirmek isteyen içindeki havanın

basıncı ile balonu küçültmek isteyen lastiğin gerilimi arasında bir denge vardır. Yıldızlar, çekirdek reaksiyonu ısısının kütlesel çekimi dengelediği bu kararlı durumda çok uzun süre kalırlar. Ancak giderek yıldız hidrojen ve öteki çekirdek yakıtlarını harcayıp bitirir. Bunun nedeni ise, yıldız ne kadar büyükse, bununla orantılı olan kütlesel çekim kuvvetini dengelemek için o kadar çok sıcaklığa gerek duyar. Ve sıcaklığı yüksek tutmak için de yakıtını daha çabuk harcar. Güneşimizin daha yaklaşık beş milyar yıl yetecek kadar yakıtı var herhalde, ama daha büyük yıldızlar yakıtlarını evrenin yaşından çok daha az bir sürede, yüz milyon yılda bitirebilirler. Yıldızın yakıtı bitince soğumaya ve büzüşmeye başlar. İşte o zaman başına ne geleceği ancak 1920'lerin sonunda anlaşılabildi.

1928 yılında Hindistanlı öğrenci Subrahmanyan Chandrasekhar (Candrasekard), Cambridge'de genel görelik uzmanı olan Britanyalı gökbilimci Sir Arthur Eddington'ın (Edingtın) yanında doktora yapmak üzere İngiltere'ye yelken açtı. (Bazı tanıklara göre, 1920'lerin başında bir gazeteci Eddington'a, duyduğuna göre, dünyada genel görelik kuramından anlayan yalnızca üç kişi olduğunu söylemiş. Eddington önce bir duraklamış, sonra da "Üçüncünün kim olduğunu anımsamaya çalışıyorum" demiş). Hindistan'dan yolculuğu sırasında Chandrasekhar, bir yıldızın yakıtını kullanıp bitirdikten sonra, kendi çekimiyle çökmeden ayakta durabilmesi için ne büyüklükte olması gerektiğini hesaplamaya çalıştı. Düşüncesi şuydu: yıldız küçülünce, madde parçacıkları birbirlerine çok yaklaşırlar ve Pauli dışlama ilkesine göre, hızları birbirinden çok farklı olmalıdır. Bu da parçacıkları birbirinden uzaklaştırır ve yıldızı genleştirmeye çalışır. Şu halde yıldız, yaşamının daha önceki döneminde kütlesel çekimi ısı ile dengelediği gibi, kütlesel çekimi bu kez dışlama ilkesinden doğan itimli dengeleyerek kendini sabit bir çapta tutabilir.

Fakat Chandrasekhar, dışlama ilkesinin sağlayabileceği itimin de bir sınırı olacağının farkına vardı. Görelik kuramı, yıldızın içindeki madde parçacıklarının hızları arasındaki farkı ışık hızıyla sınırlıyordu. Bu demekti ki, yıldız yoğunlaşınca dışlama ilkesinin

neden olduğu itim, kütlesel çekimden az olacaktı. Chandrasekhar, kütlesi güneşinkinin birbuçuk katından fazla olan soğuk bir yıldızın kendi çekim kuvvetine karşı duramayacağını hesaplayarak buldu. (Bu kütle Chandasekhar sınırı olarak bilinir.) Benzeri bir bulguya, hemen hemen aynı zamanlarda Rus bilimcisi Lev Davidovich Landau (Lando) vardı.

Bu, büyük yıldızların yazgısının sonuna ilişkin önemli önermeler getiriyordu. Kütlesi Chandasekhar sınırının altında ise, yıldız büzülmeyi durdurup sonunda yarıçapı birkaç bin kilometre ve yoğunluğu santimetre küp başına onlarca ton olan bir "beyaz cüce" durumunda karar kılabilecekti. Beyaz cüce, maddesindeki elektronların arasındaki dışlama ilkesi itimiyle ayakta durur. Bu beyaz cüce yıldızlardan pek çok sayıda gözlemleyebiliyoruz. İlk bulunanlardan biri de geceleri gökyüzünün en parlak yıldızı Sirius'un çevresinde dönen bir yıldız.

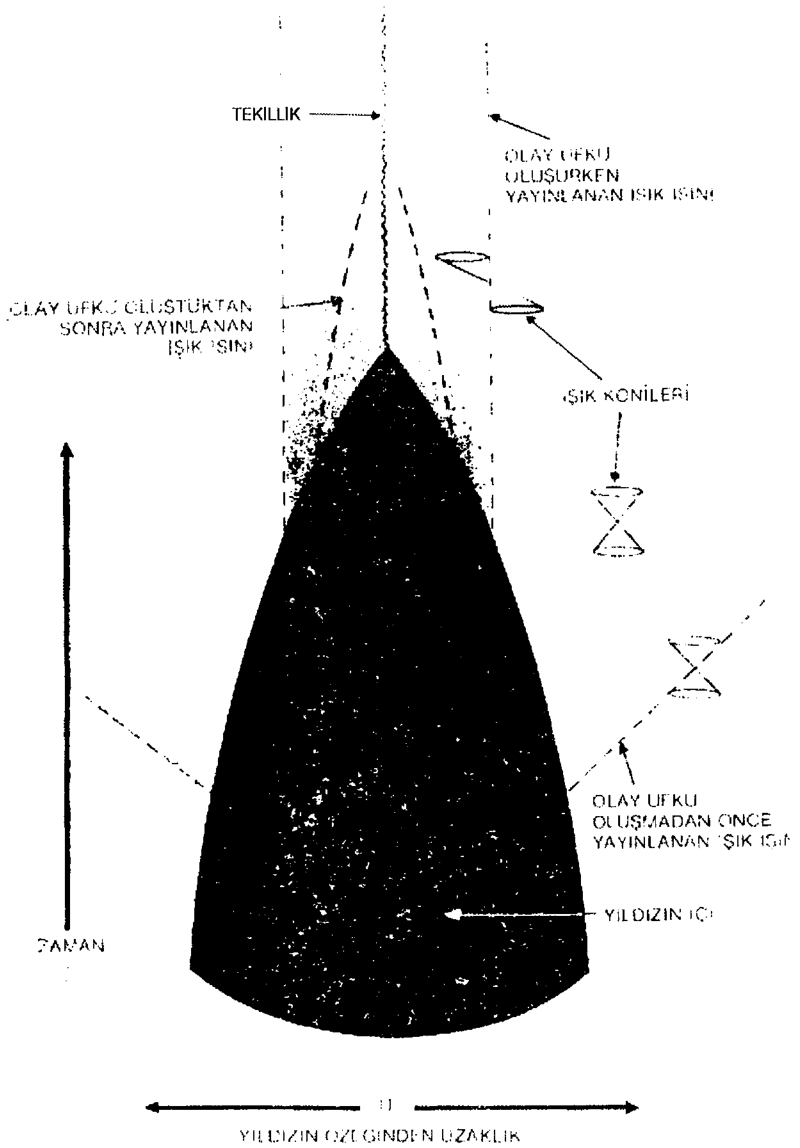
Landau, yıldız için bir başka olanaklı son durum olacağına işaret etti. Bu durumda yıldız, güneşinkinin bir iki katı kütleye sahip olmakla birlikte, beyaz cüceden çok daha küçük olacaktı. Böyle bir yıldız, elektronlar arasında değil de nötron ve protonlar arasındaki dışlama ilkesi itimi sayesinde ayakta duracaktı. Bundan ötürü nörtron yıldızı olarak adlandırılan bu yıldızın çapı yalnızca 30 kilometre kadar ve yoğunluğu da santimetreküp başına on milyonlarca ton olacaktı. Bu öngörüde bulunulduğu zamanlarda, uygun bir gözlem yöntemi olmadığı için nötron yıldızları ancak çok sonraları ayırdedilebildiler.

Öte yandan, kütleleri Chandrasekhar sınırının üstünde olan yıldızlar yakıtlarının sonuna geldiklerine çok büyük bir sorunla karşı karşıyaydılar. Bazı durumlarda ya patlayarak ya da yeterince maddeyi fırlatıp atarak kütlelerini sınırın altına düşürecekler ve böylece çekimsel çöküntü afetini savuşturmuş olacaklardı; ancak bunun yıldız ne denli büyük olarsa olsun böyle olacağına inanmak pek zordu. Bir kez, yıldız fazla kilolarını atması gerektiğini nereden bilecekti? Haydi her yıldız çöküntüden kaçınmak için yeterince kütleden kurtulmayı becermiş olsun, bir beyaz cüce ya da nötron yıl-

dızına, sınırın üstüne çıkaracak kadar kütle eklediğinizde ne olacaktı? Çökerek sonsuz yoğunluğa mı ulaşacaktı? Eddington bu önerme karşısında dehşete düştü ve Chandrasekhar'ın sonuçlarına inanmayı reddetti. Eddington'ın düşüncesine göre bir yıldız nokta kadar küçülüveremezdi. Çoğu bilimcilerin görüşü de bu yöndeydi. Einstein bile yazdığı bir makalde yıldızların sıfır büyüklüğe inemeyeceğini ileri sürdü. Öteki bilimcilerin, özellikle eski öğretmeni ve yıldızların yapısı üzerinde en başta gelen bilirkişi Eddington'ın saldırganlığı, Chandrasekhar'ı bu konu üzerinde çalışmaktan vazgeçirdi. Dikkatini yıldız kümelerinin devinimi gibi başka gökbilimi sorunlarına yöneltti. Ama 1983'te kendisine verilen Nobel ödülü hiç olmazsa bir ölçüde, soğuk yıldızların sınır kütlesi üzerindeki bu ilk çalışmalarından ötürüydü.

Chandrasekhar dışlama ilkesinin, kütlesi Chandrasekhar sınırından fazla olan bir yıldızın çökmesini durduramayacağını gösterdi. Ama böyle bir yıldıza genel görelik uyarınca ne olacağı sorusunu ilk kez 1939'da genç Amerikalı Robert Oppenheimer (Opınhaymır) yanıtladı. Ancak vargıları, o günün teleskopları ile ayırdedilebilecek gözlemsel sonuçlar olamayacağını öneriyordu. Sonra İkinci Dünya Savaşı araya girdi ve Oppenheimer'ın kendisi atom bombası projesine gark oldu. Savaştan sonra çekimsel çöküm büyük ölçüde unutuldu, çünkü bilimciler atom ve çekirdiği ölçeğinde olupbitenlere daldılar. Ancak 1960'larda çağdaş teknolojinin uygulanması sonucu gökbilimsel gözlemlerin sayıca ve kapsamca artmasıyla, büyük ölçekli gök-bilimi ve evrenbilimi sorunlarına ilgi yeniden uyandı. Oppenheimer'ın çalışmaları da birçok kişi tarafından yinelendi ve daha ileri götürüldü.

Openheimer'ın çalışmasından edindiğimiz görüş bugün şöyle açıklanabilir: yıldızın kütlesel çekim alanı, ışık ışınlarının uzay-zaman içindeki yollarını, yıldızın varolmadığı duruma göre, değişikliğe uğratır. Uçlarından yayılan ışık demetlerinin uzay ve zaman içinde izlediği yolu gösteren ışık konileri, yıldızın yüzeyine yaklaşınca içeriye doğru bükülürler. Bu güneş tutulması sırasında gözlemlenen uzak yıldızlardan gelen ışığın sapmasında görülür. Yıldız



Şekil 6.1

büzüştükçe, yüzeyi yakınındaki çekim alanı gittikçe şiddetlenir ve ışık konileri daha çok bükülürler. Bu da ışığın yıldızdan kaçmasını zorlaştırır ve uzaktaki bir gözlemciye göre ışık daha sönük ve kızılımtrak görünür. Sonunda yıldız belli bir kritik çapın altına düşünce yüzeydeki çekim alanı o denli şiddetli ve ışık konisi o denli bükük olur ki, artık ışık kaçamaz (Şekil 6.1). Görelik kuramına göre hiçbir şey ışıktan hızlı gidemeyeceğinden, eğer ışık kaçamıyorsa, hiçbir şey kaçamaz; herşey, kütlesel çekimin etkisiyle geriye döner. O halde öyle birtakım olaylar, uzay-zamanının öyle bir bölgesi vardır ki, ondan kaçılıp uzaktaki bir gözlemciye ulaşılamaz. Bugün kara delik dediğimiz işte böyle bir bölgedir. Kara delikten çıkmayı kıl payı başaramayan ışık ışınlarının yollarının kesiştiği sınıra ise olay ufku denir.

Bir yıldızın çökerek kara bir delik oluşturmasını izlerken ne göreceğinizi anlayabilmeniz için, görelik kuramında mutlak bir zaman olmadığını anımsamanız gerekir. Yıldızın üzerindeki birine göre zaman, uzaktaki birine göre olandan başkadır, yıldızın kütlesel çekim alanı nedeniyle. Diyelim ki çöken bir yıldızın üzerinde, onunla birlikte çökmekte olan gözüpek bir astronot, kolundaki saatten, yıldızın etrafında bir yörüngede dönmekte olan uzay gemisine her saniye bir işaret gönderiyor. Belirli bir saatte, örneğin tam 11'de, yıldız, kütlesel çekim alanının artıp hiçbir şeyin kaçamayacağı kritik çapın altına inecek ve astronotun işaretleri gemiye ulaşamayacak olsun. Saat 11'e yaklaştıkça, uzay gemisinde bekleşen arkadaşları astronottan art arda gelen işaretler arasındaki sürenin gittikçe uzadığını farkedecekledir. Ama bu uzama 10:59:59'dan önce pek az olacaktır. Astronot'un 10:59:58 işareti ile, saat bir saniyeden birzaz fazla bir süre geçecek ama 11:00 işareti için arkadaşlarının sonsuza dek beklemeleri gerekecektir. Yıldızın yüzeyinden 10:59:59 ile 11:00 arasında astronotun saatinden çıkan ışık, uzay gemisinden görüldüğü kadarıyla sonsuz bir zaman aralığına yayılmış olacaktır. Ardışık dalgaların uzay gemisine varışları arasındaki süreler uzadıkça uzayacak, ve böylece yıldızın ışığı gittikçe daha sönük ve daha kırmızı gözükecektir. Sonunda yıldız o ka-

dar sönük bir duruma gelecektir ki, uzay gemisinden görülemeyecek ve ardında kalan yalnızca bir kara delik olacaktır. Oysa yıldız, kara deliğin yörüngesinde dönmeyi sürdüren uzay gemisine aynı çekim kuvvetini uygulamayı sürdürecektir.

Ancak bu senaryo tümüyle gerçekçi değil, şu sorundan ötürü: Yıldızın yerçekimi uzaklıkla azalır; şu halde gözüpek astronotumuzun kafasını etkileyen çekim kuvveti, ayaklarını etkileyenden her zaman daha azdır. Kuvvetler arasındaki fark astronotumuzu makarna gibi çekip uzatacak ya da ikiye bölecektir, daha yıldız olay ufkunun oluştuğu kritik çapa ulaşamadan! Yine de, kara delikleri oluşturmak üzere kütlesel çekim çökümüne uğrayabilecek, örneğin yıldız kümelerinin merkez bölgeleri gibi, çok daha büyük nesneler bulunduğuna inanıyoruz. Bunların üstündeki bir astronot kara delik oluşumundan önce parçalanmayacaktır. Hatta, kritik çapa erişirken hiçbir tuhaflık duymayacak ve dönüşü olmayan noktayı geçtiğinin bile farkında olmayabilecektir. Ancak çökme birkaç saat daha ilerledikçe, kafası ve ayakları arasındaki çekim farkı yine o denli şiddetli olacaktır ki, parçalanmaktan kurtulamayacaktır.

Roger Penrose ile birlikte 1965 ve 1970 arasında yaptığımız çalışmalar gösterdi ki, genel görelik kuramına göre kara deliğin içinde sonsuz yoğunlukta bir tekillik ve uzay-zaman eğriliği olması gerekir. Bu, zamanın başlangıcındaki büyük patlamaya benzer; yalnız bu, çöken cisimle birlikte astronot için de zamanın sonu olacaktır. Bu teklillikte bilim yasaları ve geleceği kestirebilme olanağımız yokolacaktır. Ama kara deliğin dışında kalan bir gözlemci bu hesaplayabilme başarısızlığından etkilenmeyecektir, çünkü tekillikten ne ışık ne de başka herhangi bir şey ona ulaşamayacaktır. Bu olağanüstü gerçek karşısında Roger Penrose, "Tanrı çıplak bir tekil noktadan utanır" tümcesiyle özetlenebilecek kozmik sansür önermesini ortaya attı. Bir başka deyişle, çekimsel çökümün oluşturduğu tekillikler, ancak, dışardaki gözlerden bir olay ufkunun ardında namuslu bir biçimde gizlenebilecekleri, kara delikler gibi yerlerde olabilirler. Tam anlamıyla, buna zayıf kozmik sansür önermesi denir. Kozmik sansür, kara deliğin dışında kalan gözlem-

cileri tekillik bölgesinde hesaplanabilirliğin yokolmasının acı sonuçlarından korur, ama deliğe düşen zavallı bahtsız astronot için birşey yapamaz.

Genel görelik denklemlerinin bazı çözümlerine göre astronotumuzun çıplak tekilliği görmesi olanaklıdır. Tekilliğe çarpacağına, bir dehlizden geçerek evrenin bir başka bölgesinde bulabilir kendini. Bu, uzay ve zamanda yolculuk için büyük fırsatlar yaratacak gibiyse de ne yazık ki bu çözümlerin tümü de son derece kararsızdır, yani, en küçük bir dış etki, örneğin bir astronotun varlığı durumu değiştirebilir. Böylece astronot tekilliğe çarpıncaya, yani sonu gelinceye dek onu göremez. Bir başka deyişle, tekillik daima astronotun geleceğinde kalır, asla geçmişinde olamaz. Kozmik sansür önermesinin kuvvetli anlatımı ise şunu belirtir: Gerçekçi bir çözümde, tekillikler ya tümüyle gelecektedirler (çekimsel çöküm-deki tekillikler gibi), ya da tümüyle geçmiştedirler (büyük patlama gibi). Sansür önermesinin şu ya da bu biçimde geçerli oluşuna büyük umut bağlanmaktadır, çünkü böylece çıplak tekilliklerin yakınında geçmişe yolculuk yapılabilecektir. Bu bilimkurgu yazarları için pek güzelse de, herkesin yaşam güvenliğini ortadan kaldırabilir. Biri geçmişe dönüp, daha siz doğmadan annenizi babanızı öldürebilir!

Kaçılması olanaksız uzay-zaman bölgesinin sınırı olan olay ufku kara deliği çevreleyen tek yönlü bir zar gibidir. Gafil astronotlar gibi şeyler ufuk olayından geçip kara deliğe düşebilirler ama hiçbir şey olay ufkundan geçerek kara delikten çıkamaz. (Unutmayın ki olay ufku, kara delikten çıkmaya çabalayan ışığın uzay-zamanda izlediği yoldur, ve hiçbir şey ışıktan hızlı gidemez.) Olay ufku için Dante'nin (Dante) cehennemin kapısında söyledikleri geçerlidir: "Ey buradan içeri giren, tüm umudunu geride bırak." Olay ufkundan içeri düşen herkes ve herşey, kısa bir sürede sonsuz yoğunluk bölgesine ve zamanın sonuna ulaşır.

Genel görelik kuramı, devinen ağır cisimlerin, uzayın eğriliği içinde ışık hızıyla yol alan dalgalanmalar biçiminde kütlesel çekim dalgaları yayınına neden olacağını öngörmektedir. Bunlar elektro-

manyetik alanın dalgalanmaları olan ışık dalgalanmalarına benzer fakat ayırdedilmeleri çok daha zordur. Işık gibi, kendisini yayınlayan nesnelerden enerji alıp götürürler. Şu halde büyük kütlelerden oluşmuş bir sistemin zamanla durağanlıkta karar kılması beklenilir, çünkü her türlü devinimin enerjisi, çekim dalgalarının yayınlanmasıyla uzaklaşıp gidecektir. (Suya atılan mantar gibi; mantar önce iner çıkar, ama yayılan halkalar enerjisini uzağa taşıdıkça devinimi azalır ve sonunda durağanlaşır.) Örneğin, dünyanın güneş etrafındaki yörüngede dönmesi çekim dalgaları üretir. Enerji yitiminin etkisiyle dünyanın yörüngesi değişecek, gittikçe güneşe yaklaşacak ve sonunda dünya güneşe çarpıp duracaktır. Dünya ve güneş örneğinde enerji yitiminin hızı çok düşüktür-küçük bir elektrikli ısıtıcıyı çalıştırmaya ancak yeter. Bu demektir ki, dünyanın güneşe çarpması için daha yaklaşık milyon kere milyon kere milyon kere milyar yıl var, şimdiden endişelenmeye gerek yok! Dünyanın yörüngesindeki değişiklik gözlenemeyecek denli azdır, ama aynı etki son birkaç yıl içinde PSR-1913+16 sisteminde gözlendi. (PSR, "pulsar" yani düzenli radyo dalgaları yayınlayan özel bir nötron yıldızı türüdür.) Bu sistem birbiri etrafında dönen iki nötron yıldızından oluşur. Çekim dalgaları yayınlanması sonucu yitirilen enerji, iki yıldızın birbirlerine yaklaşmalarına neden olur.

Bir kara delik oluşturmak üzere olan yıldızın çekimsel çökümü sırasında devinimler çok daha çabuk olacağından, enerjinin taşınma hızı da çok daha fazla olacaktır. Şu halde yıldızın durağanlığa ulaşması için çok zaman geçmesi gerekmeyecektir. Bu son aşama nasıl bir şey olacaktır? Bunun, yıldızı oluşturan bileşik yapıya - yalnızca kütlesi ve dönme hızı değil, yıldızın içindeki gazların karmaşık devinimlerine- bağlı olacağı düşünülebilir. Ve kara delikler de çöküp onları oluşturan cisimler kadar çeşitliyse, kara deliklere ilişkin genel önergelerde bulunmak çok zor olabilir.

Ancak 1967'de kara deliklere ilişkin çalışmalar (Berlin'de doğup Güney Afrika'da büyümüş ve doktora derecesini İrlanda'da almış) Kanadalı bilimci Werner Israel (İzriyıl) tarafından kökten değişikliğe uğratıldı. Israel, dönmeden duran kara deliklerin genel

görelik kuramına göre çok basit yapıda olmaları gerektiğini gösterdi. Kara delik, çapı kütlesine bağlı olan tam bir küre biçimindeydi ve kütleleri eşit olan herhangi iki kara delik birbirinin tıpatıp aynı olmalıydı. Hatta, Einstein denklemlerinin 1917'den beri bilinen, Karl Schwarzschild (Şvartzşild) tarafından genel görelik kuramının ortaya çıkışından kısa bir süre sonra bulunmuş bir özel çözümü ile tanımlanabilirdi. İlkin birçok kişi, Israel'in kendisi bile, kara delik tam bir küre olduğundan, ancak tam küre biçiminde bir cismin çökmesiyle ulaşabileceğini savundu. Gerçek bir yıldız -tam bir küre olamayacağına göre- çökünce olsa olsa bir çıplak tekillik oluşturabilirdi.

Ancak, Israel'in bulduğu sonuçların, özellikle Roger Penrose ve John Wheeler tarafından savunulan bir başka yorumu vardı. Bu yorumda, yıldızın çöküşü sırasındaki hızlı devinimlerin, yaydığı çekim dalgalarıyla yıldızı gittikçe tam bir küreye benzeteceği ve böylece durağan hale gelince yıldızın tam bir küre olacağı savlanıyordu. Bu görüşe göre, dönmeyen herhangi bir yıdız, biçimi ve iç yapısı ne denli karmaşık olursa olsun, çekimsel çöküm sonunda, çapı yalnızca kütlesine bağlı tam bir küresel kara delikte son bulacaktı. Daha sonra yapılan hesaplar da bu görüşü doğruladı ve kısa bir sürede herkesçe benimsendi.

Israel'in bulduğu sonuç yalnızca dönmeyen yıldızlardan oluşan kara delikler içindi. 1963'te Roy Kerr (Kör) adlı bir Yeni Zelandalı, dönen kara delikleri tanımlayan genel görelik denklemlerine bir çözümler takımı buldu. Büyüklükleri ve biçimleri yalnızca kütleleri ve dönme hızına bağlı olan bu "Kerr" kara delikleri, değişmeyen bir hızda dönmekteydiler. Dönme hızı sıfırsa kara delik tam küre biçiminde olacaktı; bu çözüm Schwarzschild'in çözümünün aynıydı. Dönme hızı sıfırdan farklıysa, kara delik (dünya ve güneş) ekvatorun yakınında şişkin olacaktı ve dönüş hızı arttıkça şişkinlik de artacaktı. Israel'in sonucunun kapsamına dönen kara delikleri de içine alacak biçimde genişletmek üzere, çöküp bir kara delik oluşturan herhangi bir cismin eninde sonunda Kerr çözümü ile belirlenen durağan bir durumda karar kılacağı böylece varsayıldı.

1970'de Cambridge'de araştırma yapan öğrencinin ve çalışma arkadaşım Brandon Carter (Kartır) bu varsayımı kanıtlamak için ilk adımı attı. Yerinde dönen bir kara deliğin, fır fır dönen bir topaç gibi bir bakışım ekseni varsa, boyutu ve biçiminin yalnızca kütlesi ve dönme hızına bağlı olacağını gösterdi. Daha sonra 1971'de ben, aynı yerde dönen bir kara deliğin gerçekten bir bakışım ekseni bulunacağını kanıtladım. Son olarak 1973'te Londra'da Kings College'dan David Robinson (Rabinsın) Carter'la benim sonuçlarımızı kullanarak varsayımın doğruluğunu gösterdi; böylece bir kara delik gerçekten de Kerr çözümü olmalıydı. Böylece; çekimsel çökümden sonra kara delik düzgün bir dönme devinimindе karar kılmalıydı. Ayrıca, büyüklüğü ve biçimi çökerek onu oluşturan cismin doğasına değil, yalnızca kütlesi ve dönme hızına bağlı olmalıydı. Bu sonuç "Kara deliğin saçı yoktur" deyişiyle bilinir oldu. "Saçsızlık" kuramı uygulamadan büyük önem taşımaktadır, çünkü olanaklı kara delik çeşitlerini büyük ölçüde sınırlamaktadır. Böylece içinde kara delik olabilecek nesnelerin ayrıntılı modeli yapılabilecek ve modellerin öngörüleri, gözlemlerle karşılaştırılabilecektir. Bu, aynı zamanda, çöktüğü zaman cisme ilişkin özelliklerin hemen hepsinin yiteceği anlamına gelir. Çünkü daha sonrasında cisme ilişkin ölçebileceğimiz şeyler, topu topu kütlesi ve dönme hızıdır. Bunun önemini gelecek bölümde göreceğiz.

Kara delikler, gözlemlerle doğruluğu tanıtlanmadan önce bir matematiksel model olarak ayrıntılı bir kuramın geliştirildiği, bilim tarihinde sayılı bir iki olaydan biridir. Gerçekten de bu, kara deliklere karşı çıkanların başlıca savı olmuştur. Tanıtı yalnızca, doğruluğu kuşkulu genel görelik kuramına dayalı hesaplar olan nesnelere nasıl olur da inanılabilirdi? Ancak 1963'te Palomar Gözlemevinde gökbilimci Maarten Schmidt (Şmit) 3C273 adlı radyo dalgaları kaynağı (yani 3. Cambridge radyo kaynakları kataloğunda 273 numaralı kaynak) yönünde zayıf bir yıldızsı cismin kırmızıya kaymasını ölçtü. Kütlesel bir çekim alanının neden olamayacağı denli büyüktü ölçtüğü, kütlesel bir kırmızıya kayma olayıydı. Cisim o denli büyük ve bize o denli yakın olmalıydı ki, Güneş Siste-

mi'ndeki gezegenlerin yörüngelerini bozması gerekirdi. Bu, kırmızıya kaymanın evrenin genişlemesinden ötürü olduğunu akla getiriyordu, demek ki nesne çok uzaklardaydı. Ve o kadar uzaktan görülebilmesi için de çok parlak, ya da bir başka deyişle, müthiş miktarda enerji yayıyor olmalıydı. Böylesine büyük miktarda enerji üretebilecek düzenek, yalnızca tek bir yıldızın çökmesi değil, ama bir yıldız kümesinin özek bölgesinin tamamı olsa gerekti. Kırmızıya kaymaları büyük olan çok sayıda benzeri "kuvasar" yani yıldızsı nesneler bulunmuştu. Ama hepsi de çok uzaktaydı ve bundan ötürü kara deliklerin kesin tanıtı için gözlenmeleri oldukça zordu.

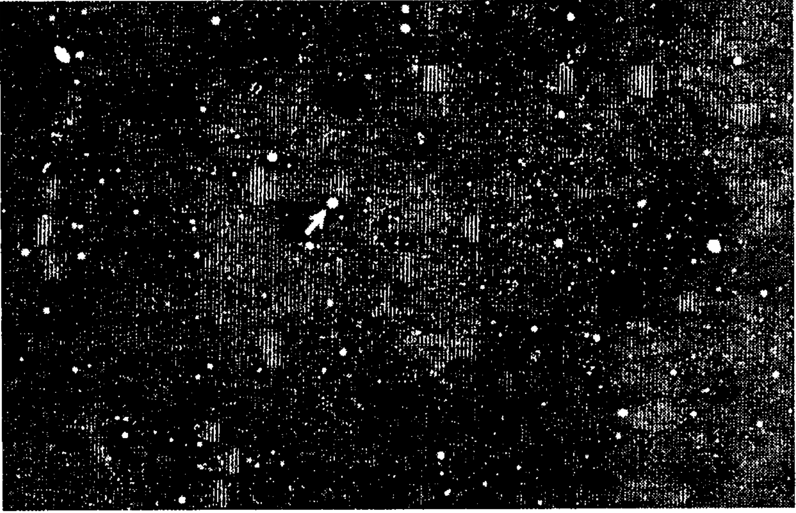
1967'de Cambridge'de araştırma öğrencisi Jocelyn Bell'in (Bel) gökyüzünde düzenli radyo dalgası darbeleri yayınlayan nesneler bulmasıyla, kara deliklerin varlığı ile ilgili yeni umutlar uyandı. Önce Bell ve denetçisi Antony Hewish (Huviş) yıldız kümesindeki bir yabancı uygarlıkla iletişim kurmuş olabileceklerini sandılar! Gerçektende, buluşlarını açıkladıkları seminerde, buldukları ilk dört kaynağa LGM 1-4 (Little Green Men -Küçük Yeşil Adamlar) adlarını koyduklarını anımsıyorum. Ancak sonunda herkes gibi onlar daha az romantik bir vargıya ulaştılar: **pulsar** adı verilen bu nesneler aslında, manyetik alanları ve kendilerini çevreleyen maddeler arasındaki karmaşık etkileşimden dolayı radyo dalgası darbeleri yayınlayan döner nötron yıldızlarıydı. Bu, uzay kovboy öyküleri yazanlar için kötü haberdi ama o zamanlar kara deliklere inanan sayılı kişiler olan bizler için umut vericiydi. Nötron yıldızlarının varlığı için ilk olumlu tanıttı bu. Nötron yıldızının çapı 30 km kadar, yani yıldızın kara delik durumuna geldiği çapın yalnızca birkaç katıdır. Yıldız büzülerek bu denli küçülebilmişse, başka yıldızların daha da küçülüp kara delik olacaklarını beklemek pek de mantıksız olamazdı.

Tanımı gereği hiçbir ışık yaymayan bir kara deliği ayırt etmeyi nasıl bekleyebilirdik? Bu biraz kömürlükte kara kedi aramak gibi değil mi? Neyse ki bir yolu var. John Michell'in 1783'teki öncü makalesinde işaret ettiği gibi, kara delik, yakınındaki nesnelere çekim kuvvetini uygulamayı sürdürür. Gökbilimciler, iki yıldızın

kütlelerinin çekimiyle birbiri etrafında döndüğü pek çok sistem gözlemlemişlerdir. Bunun yanı sıra, görünmez bir arkadaşın etrafında dönen tek bir görünür yıldızın oluşturduğu sistemler de gözlemlenmiştir. Elbette bundan hemen bu arkadaşın bir kara delik olduğu sonucuna varılamaz; belki de görünemeyecek denli sönük bir yıldızdır. Ancak bu sistemlerden bazısı, Cygnus X-1 (Signıs Eksvan) (Şekil 6.2) adlı olanı gibi, aynı zamanda şiddetli röntgen ışını kaynağıdır. Bu olgunun en iyi açıklaması, bir miktar maddenin görünen yıldızın yüzeyinden saçıldığıdır. Bu madde (küvet deliğinden akan su gibi) sarmal bir devinim ile görünmeyen arkadaşa doğru ilerlerken çok ısınarak röntgen ışınları yayınlar (Şekil 6.3). Bu mekanizmanın işlemesi için görünmeyen nesne, bir beyaz cüce, nötron yıldızı ya da kara delik gibi çok küçük olmalıdır. Görünen yıldızın gözlemlenen yörüngesinden, görünmeyen nesnenin kütlesinin olanaklı alt sınırı belirlenebilir. Cygnus X-1 örneğinde, bu güneşin kütlesinin yaklaşık altı katıdır ki Chandrasekhar'ın sonuçlarına göre, görünmeyen nesnenin beyaz cüce olabilmesi için çok fazladır. Nötron yıldızı olabilmesi için bile çok fazla bir kütledir bu. Şu halde, kara delikten başka bir şey olamaz.

Cygnus X-1'ı kara deliksiz olarak açıklayan başka modeller de var ama bunların tümü de fazla zorlamaya dayanıyor. Öyle ki, kara delik, gözlemlerin gerçekten tek doğal açıklaması, Bununla birlikte, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden Kip Thorne (Torn) ile Cygnus X-1'in de aslında bir kara delik içermediği üzerine iddiaya girdim! Bu benim için bir tür sigorta. Kara delikler üzerinde bunca çalışmam, varolmadıkları ortaya çıkarsa tümüyle boşa gidecek. Ama o zaman da iddiayı kazanmış olacak ve "Private Eye" dergisinin*dört yıllık aboneliğiyle avunacağım. Eğer kara delikler gerçekten var ise Kip bir yıl "Penthouse" okuyacak. İddiaya tutuştuğumuz 1975 yılında Cygnus'ın kara delik olduğundan yüzde seksen emindik. Bugünlerde yüzde doksanbeş emin olduğumuzu söyleyebilirim, ama iddia henüz sonuçlanmadı.

* Ç.N: İngiltere'de bir mizah dergisi



Şekil 6.2
Fotoğrafın ortasına yakın görülen iki yıldızdan parlak olanı, Cygnus X-1. Bu yıldızın, birbiri etrafında dönen normal bir yıldız ile bir kara delikten oluştuğu sanılıyor.

Cygnus X-1 sistemindeki gibi, yıldız kümemizde ve Magellan Bulutları adı verilen iki komşu yıldız kümesinde, birçok kara delik daha bulunduğu konusunda tanıtlarımız da var şimdi. Ancak kara deliklerin sayısı şüphesiz çok daha fazla olmalı. Evrenin uzun geçmişinde çok sayıda yıldız çekirdek yakıtını tüketip çökmek durumunda kalmış olmalı. Hatta kara deliklerin sayısı, yalnızca bizim yıldız kümemizde yaklaşık yüz milyar olan görülebilen yıldızların sayısından daha fazla olabilir. Bu denli çok sayıda kara deliğin neden olduğu fazladan kütlesel çekim, yıldız kümemizin niçin bu hızda dönmekte olduğunu açıklayabilir; görünen yıldızların kütlesi bunu açıklamak için yeterli değil. Buna ek olarak, yıldız kümemizin özeğinde, kütlesi güneşimizinkinin yaklaşık yüzbin katı olan çok büyük bir kara delik bulunduğuna ilişkin elimizde bazı tanıtlar var. Kümedeki yıldızlardan bu kara deliğe fazla yaklaşanlar, uzak ve yakın bölümleri arasındaki kütlesel çekim kuvvetlerinin farkın-

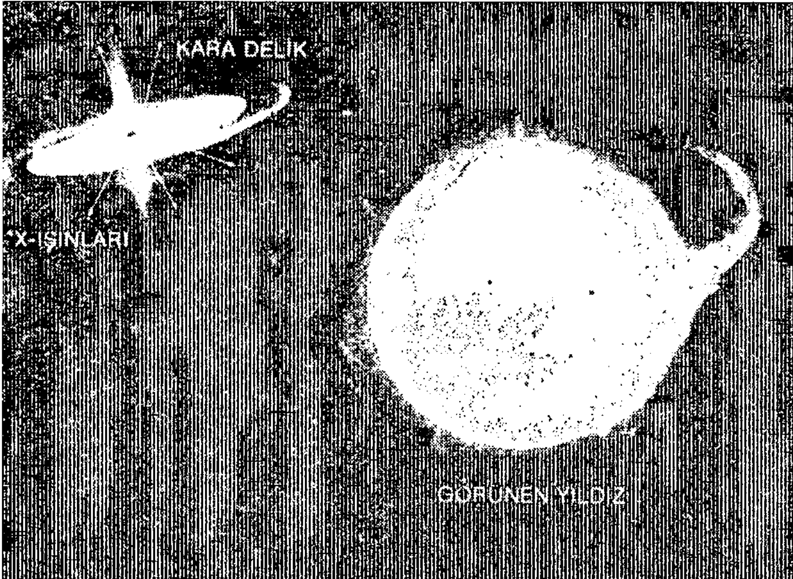
dan dolayı parçalanacaklardır. Bunların kalıntıları ve öteki yıldızlardan atılan gazlar kara deliğe doğru düşeceklerdir. Cygnus X-1'da olduğu gibi, gaz, bir sarmal boyunca ilerlerken ısınacaktır, ama o örnektekinden daha az. Röntgen ışınları yayınlayacak denli sıcak olmasa da kümemizin özeğinden geldiği gözlemlenen çok yoğun radyo dalgaları ve kızılötesi ışınlar kaynağının nedenini açıklayabilir.

Kuvarsarların özeğinde de kütleleri güneşinkinin yaklaşık yüz milyon katı olan benzeri ama daha büyük kara deliklerin bulunduğu düşünülmektedir. Ancak bu korkunç kütleli kara deliklere düşen madde, bu cisimlerin yaydığı müthiş enerji miktarını açıklayabilecek ölçüde güç kaynağı sağlayabilir. Madde kara deliğe sarmal bir devinimle yaklaşırken onu da aynı yönde döndürür ve dünyanınki gibi bir manyetik alan oluşturmasına neden olur. Düşen madde tarafından kara delik yakınında çok yüksek enerjili parçacıklar üretilir. Manyetik alan o denli şiddetlidir ki, bu parçacıkları, kara deliğin dönme ekseni doğrultusunda, yani kuzey-güney kutuplarından dışarıya doğru, fışkırmalarda odaklaştırır. Bu fışkırmalar gerçekten de birçok yıldız kümesinde ve kuvarsarlarda gözlenmiştir.

Bu arada güneşten daha az kütleli kara delikler olabileceği de düşünülmeli. Böylesi kara delikler çekimsel çökümle oluşmuş olamazlar, çünkü kütleleri Chandrasekhar sınırının altındadır; az kütleli yıldızlar çekirdek yakıtlarını bitirdiklerinde bile kendilerini çekim kuvveti karşısında ayakta tutabilirler. Böylesi az kütleli kara delikler olsa olsa çok yüksek dış basınç altında maddenin sıkışarak müthiş yoğunluğa ulaşmasıyla oluşabilirler. Bu türden koşullar çok büyük bir hidrojen bombasıyla ortaya çıkabilir. Fizikçi John Wheeler'ın bir zamanlar yaptığı hesaba göre, dünyadaki tüm okyanuslardaki suyun tümü ağırlaştırılıp kullanılabilse, özeğindeki maddeyi kara delik yaratacak denli sıkıştırabilecek bir hidrojen bombası yapılabilir. (Elbette bunu gözlemleyebilecek kimse kalmaz!) Daha gerçekçi bir olasılık da bu az kütleli kara deliklerin evrenin ilk zamanlarındaki yüksek sıcaklık ve basınç altında oluşmuş olabilecekleri. Kara delikler bu biçimde, ancak evren o ilk zamanlarda

tam düzgün ve düzenli değilse oluşabilirler. Çünkü ancak ortalamadan daha yoğun, küçük bir bölüm bu yolla sıkışıp kara delik durmuna gelebilir. Birtakım düzensizlikler olmuş olmalı, yoksa evrendeki madde, yıldızlar ve yıdız kümeleri biçiminde kümelenmiş olmayıp bu çağda bile hâlâ tam düzgün dağılmış olurdu.

Yıldız ve yıldız kümelerinin varlıkarının nedenini açıklamak, gerekli düzensizliğin önemli sayıda, "erken" kara delikler oluşumuna yol açıp açmadığına, açıkçası evrenin ilk sıralarındaki koşulların ayrıntılarına bağlıdır. Buna göre, bugünkü erken kara deliklerin sayısını saptayabilirsek, evrenin en önceki aşamalarına ilişkin büyük ölçüde bilgi edinmiş oluruz. Kütleleri bir milyar ton (yani büyük bir dağın kütlesi) kadar olan erken kara delikler, ancak başka görünen maddeler ya da evrenin genişlemesi üzerindeki çekimsel etkileri ile ayırt edilebilirler. Bununla birlikte, gelecek bölümde



Şekil 6.3

öğreneceğimiz üzere kara delikler pek de kara değildirler; bir sıcak cisim gibi ışırlar ve ufak oldukları ölçüde daha çok ışırlar. Yani mantığa aykırı olarak, ufak kara delikler, büyüklerden daha kolay ayırt edilebilir!

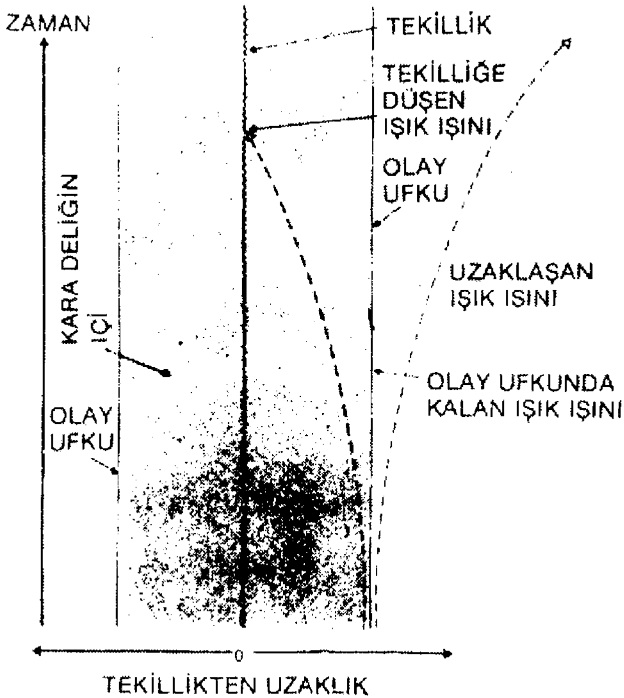
7

KARA DELİKLER O KADAR DA KARA DEĞİL

1970'ten önce genel görelik üzerine araştırmalarım büyük patlama tekilliği olup olmadığı sorusu üzerine yoğunlaşmıştı. Aynı yılın Kasım ayında bir gece, kızım Lucy'nin doğumundan kısa bir sonra yatağa yatmaya hazırlanırken kara delikler üzerinde düşünmeye başladım. Sakatlığımdan dolayı bu oldukça yavaş süren bir iş olduğu için, düşünmeye zamanım çoktu. O tarihlerde uzay zaman içindeki hangi noktaların kara deliklerin içinde, hangilerinin kara delikler dışında olduğuna ilişkin kesin tanımlar yoktu. Kara delikleri, bugün de genellikle kabul edilen, kendilerinden çok uzaklaşmanın olanaksız olaylar kümesi biçiminde tanımlama düşüncesini Roger Penrose ile daha önce tartışmıştım. Yani, kara deliğin sınırı olan olay ufku, kara delikten uzaklaşmayı başaramayıp, sonsuza değin kenarında dolaşan ışık ışınlarının uzay-zaman içindeki yollarından oluşmaktadır (Şekil 7.1). Bu birazcık, polisten kaçarken bir adım önde olmayı becerip, ama ondan bir türlü kurtulamamaya benzer!

Aniden, bu ışık ışınlarının yollarının birbirine hiçbir zaman yaklaşamayacağını farkettim. Eğer yaklaşsalardı eninde sonunda

birbirleri içine geçmeleri gerekirdi. Polisin ters yönde kaçan birisiyle karşılaşmasına benzeyen bir durum -her ikinizde yakalanırdınız! (Ya da bu durumda dolaşıyor olamazlardı.) Bu yüzden olay ufkundaki ışık ışınları her zaman birbirine koşut ya da birbirinden uzaklaşacak biçimde devinmeliydi. Bunu görmenin başka bir yolu, olay ufkunu, yani kara deliğin sınırını, bir gölgenin kenarı, kaçınılmaz kıyamet gölgesinin sınırı olarak kafada canlandırmaktır. Güneş gibi uzaktaki bir kaynağın düşürdüğü gölgeye baktığımızda, kenarlardaki ışık ışınlarının birbirlerine yaklaşmadıklarını görürsünüz.



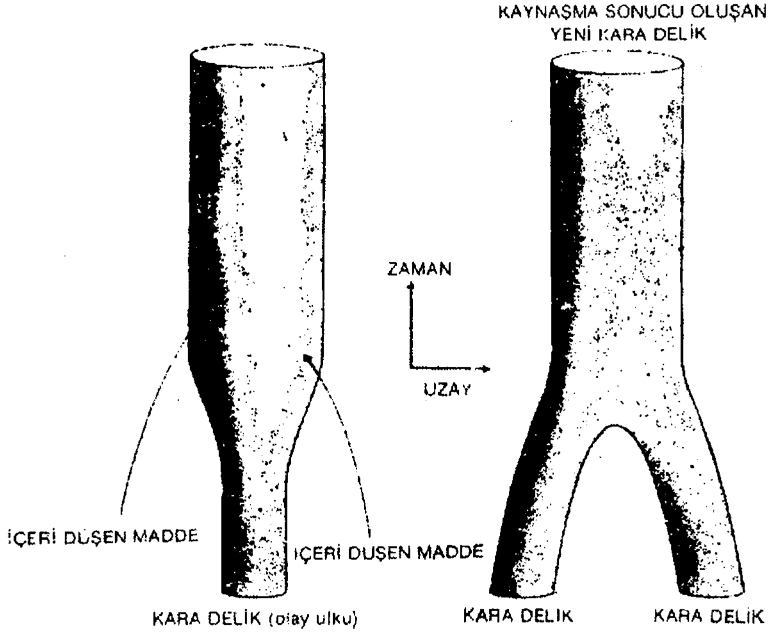
Şekil 7.1

Olay ufkunu, yani kara deliğin sınırını, oluşturan ışık ışınları birbirlerine hiç yaklaşamıyorsa, olay ufkunun alanı aynı kalabilir ya da zamanla artabilir, ama hiçbir zaman azalamaz, çünkü bu ışık ışınlarından en azından bir bölümünün, birbirlerine yaklaşması gerektiği anlamına gelir. Aslında, ne zaman bir madde ya da bir ışıma kara deliğin içine düşse, alanın artması gerekir (Şekil 7.2). Ya da iki kara delik çarpışıp tek bir kara delik oluşturmak üzere kaynaşsa, ortaya çıkan kara deliğin olay ufkunun alanı, ilk kara deliklerin olay ufku alanlarının toplamından ya daha büyük ya da ona eşit olur (Şekil 7.3). Olay ufku alanının bu azalmama özelliği, kara deliklerin olası davranış biçimleri üzerine önemli bir kısıtlama koymaktaydı. Bulgumdan dolayı o kadar heyecanlandım ki, o gece doğru dürüst uyuyamadım. Ertesi gün Roger Penrose'u telefonla aradım. Düşüncelerime katıldı. Aslında, sanırım, alanın bu özelliğinin zaten farkındaydı. Ama onun kullandığı kara delik tanımı biraz farklıydı. Kara deliğin sınırının ve dolayısıyla alanının, kara delik zamanla değişmeyen bir durumda kaldıkça, her iki tanıma göre aynı olacağının farkına varmamıştı.

Kara deliğin alanının azalmama özelliği, entropi adı verilen ve bir dizgenin düzensizliğini ölçmekte kullanılan fiziksel niceliği çok andırmaktadır. Eşyalar kendi hallerine bırakıldıkları zaman düzensizliklerinin artacağı herkesin her zaman gözlemlediği bir olaydır. (İnsan, evinde onarım yapmayı bırakmayagörsün) Düzensizlikten düzen yaratabilir, (Örneğin evi boyayabilirsiniz), ama bu gayret ya da enerji har canmasını gerektireceği için eldeki düzenli enerjinin miktarını azaltır.

Bu düşünce, daha kesin olarak ortaya konduğu biçimiyle, termodinamiğin ikinci yasası olarak bilinir.

Bu yasa, kapalı bir dizgenin entropisinin her zaman artacağını ve iki dizge birleştirildiğinde, birleşik iki düzenin toplam entropisinin, tek tek dizgelerin entropilerinin toplamından fazla olacağını belirtir. Örnek olarak, bir oda içindeki gaz molekülleri dizgesini göz önüne alalım. Moleküller sürekli olarak birbirleriyle çarpışan ve odanın duvarlarına vurup yansıyan küçük bilardo topları gibi



Şekil 7.2

Şekil 7.3

düşünülebilir. Gazın ısısı arttıkça moleküller daha hızlı devinir, bu yüzden duvarlara daha sık ve kuvvetli çarparlar, böylece dışarıya doğru daha çok basınç uygularlar. Moleküllerin ilk önce bir bölme ile odanın sol yanında toplandığını varsayalım. Bölme aradan kaldırıldığında, moleküller dağılıp odanın her iki yarısına yayılma eğiliminde olacaklardır. Daha sonra, şans eseri, hepsi sağ tarafta ya da yeniden sol tarafta toplanabilir, ama çok büyük bir olasılıkla kutunun her iki yarısına eşit olarak dağılacaklardır. Böyle bir durum, moleküllerin hepsinin odanın sol yanında olduğu ilk durumdan da-

ha az düzenli, yani daha çok düzensizdir. Şu halde gazın entropisinin arttığını söyleyebiliriz. Benzer biçimde birinde oksijen diğerinde azot molekülleri bulunan iki kutuyu alalım. İki kutuyu birleştirip aradaki bölmeyi kaldırırsak oksijen ve azot molekülleri karışmaya başlayacaktır. Daha sonraki bir zamanda en olası durum, her iki kutuya oldukça düzgün yayılmış oksijen ve azot karışımıdır. Bu durum kutuların ilk ayrı durumlarından daha az düzenli bir durumdur ve bu yüzden entropisi daha fazladır.

Termodinamiğin ikinci yasasını fiziğin diğer yasalarından, örneğin Newton'ın çekim yasasından ayıran değişik bir özelliği vardır, çoğu durumda geçerli olmasına karşın, geçerli olmadığı durumlar da olanaklıdır. Birinci odamızdaki gaz moleküllerinin, ileri bir zamanda odanın bir yarısında toplanma olasılığı milyonlarcada birdir ama sıfır değildir, yani olabilir. Yakınımızda bir kara delik olsaydı termodinamiğin ikinci yasasına karşı gelmenin daha kolay bir yolu olurdu: Kara delikten içeri, gaz dolu oda gibi bol entropili biraz madde atıverin; O zaman, kara deliğin dışındaki maddenin toplam entoripisi azalacaktır. Ama hâlâ denebilir ki, kara deliğin içindeki entropiyi de katarsak, toplam entropi azalmamıştır; ama kara delikten içeri bakamadığımız için, içinde ne kadar entropi olduğunu bilemeyiz. Kara deliğin, kendi dışındaki gözlemcilerin entropisini belirleyebileceği ve entropi taşıyan bir madde içine düştüğü zaman entropisi artan bir özelliği olsaydı çok hoş olurdu. Yukarıda anlatılan, kara deliğin içine madde düştükçe olay ufkunun alanının arttığı buluşundan sonra, Princeton'dan Jacob Bekenstein (Bekınstayn) adı bir araştırma öğrencisi, olay ufkunun alanının, kara deliğin entropisinin bir ölçüsü olduğunu öne sürdü. Entropi taşıyan madde kara deliklerin dışındaki maddenin toplam entropisi ve ufukların alanı hiçbir zaman azalmayacaktı.

Bu öneri, termodinamiğin ikinci yasasının zorlanmasını birçok durumda önler gibi gözüküyordu. Buna karşın çok daha büyük bir çarpıklığı vardı. Eğer bir kara deliğin entropisi varsa o zaman ısısı da olmalıdır. Belli bir bir ısısı olan bir cismin de belli miktarda ışıması, yani radyasyon yayması gerekir. Hepimiz biliriz ki, bir de-

mir çubuk ateş üzerinde ısıtıldığında kıpkırmızı parlar ve ışır, doğal olarak daha düşük ısılardaki cisimler de ışırlar, ama ışımanın miktarı çok az olduğu için normal olarak farkedemeyiz. Bu ışıma, termodinamiğin ikinci yasasının zorlanmaması için gereklidir. Bu yüzden kara deliklerin de ışımaları gerekecekti. Ama tanımları gereği, kara delikler hiçbir şey yayınlamamalıdır. Şu halde, bir kara deliğin olay ufkunun alanını, o kara deliğin entropisi olarak yorumlanamayacağı anlaşılıyordu. 1972'de, Jim Bardem (Bardiyn) adlı bir Amerikalı meslektaşım ve Brandon Carter ile birlikte, entropi ile olay ufkunun alanı arasında birçok benzerlik olmasına karşın, yukarıda değindiğim gibi bu olasılığı yokeden bir zorluğu olduğunu belirten bir makale yayınladım. Kabul etmeliyim ki, bu makaleyi yazmamda olay ufkunun Bekenstein'a duyduğum kızgınlığın kısmen de olsa payı vardı. Ama sonunda beklemediği bir biçimde de olsa, temelde haklı olduğu ortaya çıktı.

1973 yılının Eylül ayında Moskova'yı ziyaret ederken, kara delikleri Yakov Zeldovich (Zeldoviç) ve Alexander Starobinsky (Starobinski) adlı iki Sovyet uzmanla tartıştım. Kendi eksenleri etrafında dönen kara deliklerin tanecik mekaniğinin belirsizlik ilkesine göre parçacık üretip yayınlamaları gerektiğine beni ikna ettiler. Savlarına fiziksel temelde nedenlerden dolayı katıldım, yoksa bu yayınlamayı hesapladıkları matematiksel yöntemi pek beğenmemiştim. Bu yüzden oturup kendim daha iyi bir matematiksel yöntem geliştirdim ve bunu 1973 Kasımının sonunda Oxford'da resmi olmayan bir seminerde açıkladım. Henüz yayınlamanın gerçekten ne kadar olacağını saptamamıştım. Zeldovich ve Starobinsky'nin kendi etrafında dönen kara deliklerden beklediklerine eşit bir ışıma miktarı bulacağımı sanıyordum. Ama, hesabı yaptığım zaman kendi etraflarında dönmeyen kara deliklerin bile kararlı bir hızla parçacık yaratıp yayınlamaları gerektiği sonucunu şaşırarak ve öfkelenerek buldum. İlk önce bu yayınlamanın, kullandığım yaklaşımlardan birinin geçersiz olduğunu gösterdiğini sandım. Bekenstein'in bunu haber alıp, hâlâ hoşlanmadığım kara deliklerin entropisi düşüncesini daha hararetle desteklemekte kullanacağından korkuyor-

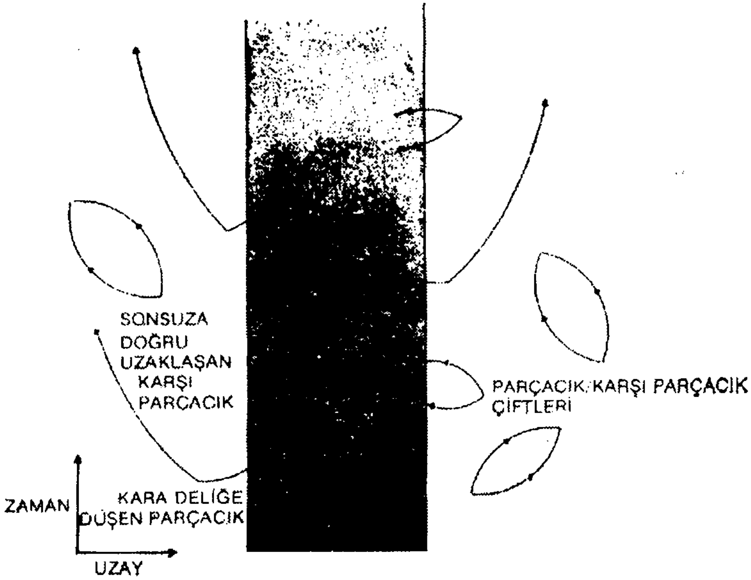
dum. Bununla birlikte, üzerinde daha çok düşündükçe yaklaşımlarının doğru olması gerektiğine inandım. Ama beni en sonunda ikna eden şey, yayınlanan parçacıkların ışık yelpazesinin sıcak bir cisminkiyle aynı olduğunu, ve kara deliğin termodinamiğin ikinci yasasının zorlanmasını tam önleyecek bir hızla parçacık yayınladığının ortaya çıkması oldu. O zamandan beri bu saptamalar başka kişilerce de değişik biçimlerde tekrarlandı. Hepsi de, kara deliklerin, ısısı kütlesine bağlı olarak, yani daha büyük kütle daha düşük ısıya karşı gelmek üzere, bir sıcak cisim gibi parçacık ve ışıma yayınlaması gerektiğini doğrulamaktalar.

Nasıl oluyor da olay ufkunun içinden hiçbir şeyin dışarıya kaçamayacağını bildiğimiz halde, bir kara delik parçacık yayınlar gibi gözüküyor? Bunun yanıtı, tanecik kuramının bize söylediğine göre, parçacıkların kara deliğin içinden değil fakat kara deliğin olay ufkunun hemen dışındaki "boş" uzaydan geldikleri biçimindedir. Bunu şu şekilde anlayabiliriz: "Boş" diye düşündüğümüz uzay tamamen boş olamaz çünkü o zaman içindeki çekim ya da elektromanyetik alan gibi bütün alanların tam tamına sıfır olması gerekirdi. Bir alanın değeri ve zamanla değişim hızı bir parçacığın konumu ve hızı gibidir: belirsizlik ilkesinin dediğine göre, bunlardan birisi daha büyük doğrulukla bilindiğinde diğerini bilme doğruluğu azalır. Bu yüzden, boş uzayda alan, kesinlikle sıfır olarak saptanamaz, çünkü o zaman, alanın hem kesin bir değerini (sıfır) hem de kesin bir değişim hızının (bu da sıfır) olması gerekecektir. Alanın değerinde çok az bir belirsizlik değeri, ya da tanecik dalgalanmaları olması zorunludur. Bu dalgalanmalar, zaman zaman birlikte ortaya çıkan, birbirinden ayrılan ve daha sonra yeniden bir araya gelip birbirini yok eden ışık ya da çekim parçacık çiftleri olarak düşünülebilir. Bunlar, güneşin çekim kuvvetini taşıyan parçacıklar gibi sezilgen parçacıklardır: gerçek parçacıklardan farklı olarak parçacık dedektörü ile doğrudan algılanamazlar. Bununla birlikte, atomların içindeki elektron yörüngelerindeki küçük enerji değişimleri gibi, dolaylı etkileri kuramsal değerlere son derece yakın doğrulukla ölçülebilmektedir. Belirsizlik ilkesi, elektron ya da ku-

vark gibi madde parçacıklarının da sezilgen çiftleri olacağını öngörür. Yalnız bu durumda, çifti oluşturanlardan bir tanesi parçacık, diğeri ise karşıparçacık olacaktır (ışık ve çekimin parçacık ve karşıparçacıkları birbiriyle aynıdır).

Enerji yoktan yaratılamayacağı için, parçacık/karşıparçacık çiftini oluşturanlardan birinin artı enerjiye, diğerinin de eksi enerjiye sahip olması gerekir. Eksi enerjisi kısa ömürlü bir sezilgen parçacık olmaya mahkumdur, çünkü normal koşullar altında gerçek parçacıkların her zaman artı enerjileri vardır. Bu yüzden ortağını arayıp onunla birleşerek yok olmak zorundadır. Gerçek bir parçacığın enerjisi büyük bir cisme yakınken, aynı cisimden uzakta olduğundan daha azdır, çünkü onu, cismin çekiminden kurtarıp uzak bir noktaya götürmek için ek enerji gereklidir. Normal olarak parçacığın enerjisi hâlâ artı kalır ama bir kara deliğin çekim alanı o denli kuvvetlidir ki, uzak noktadaki bir gerçek parçacığın bile eksi enerjisi olabilir. Şu halde, eksi enerji bir sezilgen parçacığın, eğer bir kara delik varsa, onun içine düşüp gerçek parçacığa ya da karşı parçacığa dönüşmesi olanaklıdır. Sezgin parçacık bu durumda ortağı ile birleşip yok olmak zorunda da değildir. Yüzüstü bırakılmış ortağı da benzer biçimde bir kara deliğin içine düşebilir. Ya da, artı enerjili olduğu için, kara deliğin yakınından gerçek parçacık ya da karşıparçacık olarak kaçabilir (Şekil 7.4). Uzaktan bakan bir gözlemciye bu sanki kara delik parçacık yayınlıyormuş gibi görünecektir. Kara delik küçüldükçe, eski enerjili parçacığın gerçek parçacık olmadan önce alacağı yol kısalacağı için, kara deliğin parçacık yayınlama hızı artar ve görünen ısısı ortaya çıkar.

Kara deliğin dışarıya doğru yayınlandığı artı enerjili ışımanın, eski enerji yüklü parçacıkların kara deliğin içine doğru akmasıyla dengelenmesi gerekir. Einstein'ın $E=mc^2$ denklemine göre (E enerji m kütle ve c ışık hızı), enerji kütleyle doğru orantılıdır. Şu halde kara deliğin içine doğru eksi enerji akışı onun kütlesini azaltır. Kara deliğin kütle yitirmesiyle olay ufkunun alanı daralır; ama kara deliğin entropisindeki bu azalma, yayınlanan ışımanın entropisi ile fazlasıyla karşılanır. Böylece termodinamiğin ikinci yasası hiçbir



Şekil 7.4

zaman zorlanmamış olur.

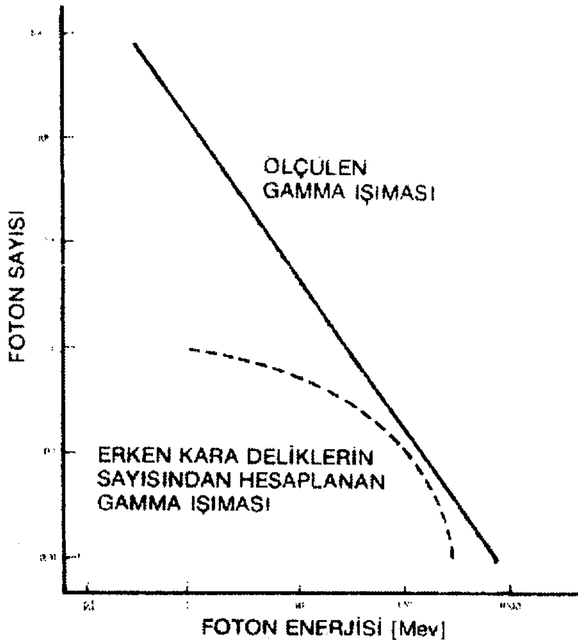
Ayrıca, bir kara deliğin kütlesi azaldıkça ısısı yükselecektir. Bu yüzden, kara delik kütle yitirdikçe ısı yayınlama hızı artacak, sonuç olarak daha büyük hızla kütle yitirecektir. Kara deliğin kütlesi son derece küçüldüğünde ne olacağı ise pek açık değildir, ama en akla yakın tahmin milyonlarca hidrojen bombasına eşdeğer korkunç bir son patlamayla tamamen yok olacağıdır.

Kütlesi güneşten birkaç kez büyük bir kara deliğin ısısı mutlak sıfırdan ancak bir derecenin on milyonda biri kadar fazladır. Bu, evreni dolduran mikrodalga ışımasından çok daha düşüktür (mutlak sıfırın yaklaşık 2,7 derece üstü). Bu yüzden böyle kara delikler soğurduklarıdan daha az yayınlarlar. Eğer evrenin yazgısı sonsuza değin genişlemekse mikrodalga ışıma ısısı sonunda böyle bir kara deliğinkinin de altına düşecek ve o zaman kara delik kütle yitirme-

ye başlayacaktır. Ama o zaman bile, ısısı o denli düşük olacaktır ki, tamamen yokolması milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon (1'den sonra altmış altı tane sıfır) yıl sürecektir. Bu, evrenin on ya da yirmi milyar yıl (1 ya da 2'den sonra on tane sıfır) olan yaşından çok daha fazladır. Diğer yandan, altıncı bölümde sözü edildiği gibi, erken kara delik denen ve evrenin çok erken evresindeki düzensizliklerin çökmesiyle ortaya çıkan daha küçük kütleli kara delikler bulunabilir. Böyle kara deliklerin ısısının çok daha yüksek olması ve çok daha yüksek bir hızla ışımaları gerekir. İlk kütlesi bir milyar ton olan böyle bir erken kara deliğin yaşam süresi, yaklaşık evreninkine eşittir. Daha az kütleye sahip erken kara deliklerin şimdiye kadar çoktan yok olmuş olmaları gerekir, ama kütlesi bundan biraz daha fazla olanların hâlâ röntgen ya da gama ışınları gibi ışıma yayıyor olmalılar. Röntgen ya da gama ışınları, ışık dalgalarına benzer ama dalga boyları çok daha kısadır. Böyle deliklere "kara" demek doğrusu biraz haksızlık oluyor: aslında bembeyaz olup, onbin megavatlık bir güçle enerji yaymaktadırlar.

Bu tip kara deliklerden bir tanesi, gücünü dizginleyebilirsek on tane büyük enerji üreteci çalıştırabilir. Bu işi gerçekleştirmek, elbette çok zordur. Böyle bir kara deliğin kütlesi, bir dağın, santimetrenin milyonda birinin milyonda birine, yani bir atom çekirdeğinin içerisine sıkıştırılmış kütlesine eşittir. Bu kara deliklerden bir tanesine dünya yüzeyinde sahip olsaydınız, dünyanın yüzeyini delip, özeğine düşmesini engelleyecek hiçbir şey olamazdı; sonunda yerin özeğinde durana dek, yeryüzünün bir o yanına bir bu yanına salınmayı sürdürdü. Bu yüzden, enerjisini kullanmak üzere onu yerleştiebileceğimiz en uygun yer ancak dünyanın çevresinde bir yörüngedir; onu bu yörüngeye getirmenin tek yolu da, eşeğin önüne iple havuç tutmak gibi, önünde daha büyük bir kütleyle onu çekmek olurdu. Bu, pek uygulanabilir bir öneri gibi gözükmekte; en azından yakın gelecek için.

Erken kara deliklerin enerjilerini dizginleyemesek bile, hiç ol-



Şekil 7.5

mazsa onları gözlemleme şansımız ne kadardır? Bu kara deliklerin, yaşam sürelerinin çoğu boyunca yayınladıkları gama ışımasını aramak bunun bir yolu olabilir. Çok uzakta oldukları için, tek tek ışımaları zayıf olsa bile, toplam ışımayı algılamak olanaklıdır. Gerçekten de böyle gama ışınlarını algılamaktayız: Şekil 7.5. gözlemlenen ışıma yeğinliğinin frekansla (saniyedeki dalga sayısıyla) nasıl değiştiğini göstermektedir. Bununla birlikte, bu gözlemlediğimiz ışımanın erken kara deliklerden geliyor olması gerekmediği gibi, büyük bir olasılıkla başka süreçlerden kaynaklandığı söylenebilir. Şekil 7.5'teki noktalı çizgi, erken kara deliklerin bir ışıkyılı oylumunda ortalama 300 tane bulunması durumunda, gama ışınları yeğinliğinin frekansla nasıl değiştiğini göstermektedir. Şu halde denebilir ki, gama ışınlarının gözlemlenmesi erken kara deliklerin varlığı için olumlu bir tanıt değildir, ama bu tür kara deliklerin sa-

yısının bir ışıkyılı oylumunda ortalama 300'den fazla olamayacağını bize kesinlikle söyler. Bu sınır, erken kara deliklerin, evrendeki maddenin en fazla milyonda birini oluşturabileceği anlamına gelir.

Erken kara deliklerin böylesine seyrekliği, yalın bir gama ışın kaynağı olarak gözlemleyebileceğimiz yakınlıkta bir tanesinin bulunma olasılığını çok düşürür gibi gözükmektedir. Öte yandan, herhangi bir madde, erken kara delikleri kendisine doğru çekeceğinden, yıldız kümeleri içinde ya da etrafında daha sık bulunmaları gerekmektedir. Gözlemlediğimiz gama ışınları, her bir ışıkyılı oylumu başına ortalama 300 tane erken kara delik bulunabileceğini belirtmesine karşın, kendi yıldız kümemizin içinde ne sıklıkla bulunduklarına ilişkin hiçbir şey söylemiyor. Diyelim ki, bunların sayısı ortalamadan bir milyon kere fazla olsun; bu durumda bize en yakın kara delik, aşağı yukarı bilinen en uzak gezegen Pluto uzaklığında, yani bir milyar kilometre kadar uzaklıkta bulunmalıdır. Bir kara deliğin bu uzaklıktan ışımasını, on bin megavat gücünde bile olsa algılamak çok zordur. Bir erken kara deliği gözlemlediğimizden emin olabilmek için, aynı yönden, akla yatkın bir zaman süresi boyunca, örneğin bir hafta süresince, birkaç gamma ışını taneciğinin algılanması gerekir. Yoksa, pekala başka bir kaynaktan geliyor olabilirler. Planck'ın tanecik ilkesinin bize söylediğine göre, gama ışını taneciğinin enerjisi yüksektir, çünkü bu ışınları frekansı çok yüksektir. Bu yüzden, onbin megavat güç yayınlamak için çok sayıda gama taneciğine gerek bulunmaz. Pluto mesafesinden gelebilecek birkaç taneciği gözlemlemek için şimdiye kadar yapılmış gama ışını dedektörlerinin en büyüğünden daha da büyük bir gama dedektörüne gereksinim vardır. Ayrıca, gama ışınları atmosferi delemediği için bu dedektörün uzayda kurulması zorunludur.

Doğal olarak, Pluto kadar yakında bulunan bir kara delik yaşam süresinin sonuna ulaşıp patlayacak olsaydı, bunu algılamak çok kolay olurdu. Ama, kara delik son on ya da yirmi milyar yıldır yayınlamada bulunuyorsa, yaşam süresinin sonuna geçmişteki ya da gelecekteki birkaç milyon yıl yerine, önümüzdeki birkaç yılda e-

rişmesi olasılığı oldukça küçüktür! Bu yüzden, araştırma paranız suyunu çekmeden, az da olsa patlamayı görme şansınız olmasını istiyorsanız, bir ışık yılı uzaklığındaki patlamaları algılayacak bir yol bulmanız gerekmektedir. Bu durumda bile patlamadan doğacak birkaç gama ışını taneciğini algılamak için büyük bir gama dedektörüne gereksinim duyma sorunundan kurtulamazsınız. Buna karşın, bu durumda bütün parçacıkların aynı yönden bir zaman aralığında gözlemlemek, aynı patlamadan kaynaklandıkları güvencesini verdiği için yeterlidir.

Erken kara delikleri saptayabilecek gama dedektörlerinden biri de dünyayı kuşatan atmosferdir. (Zaten, daha büyük bir dedektör yapmamız olanaklı gibi değil!) Yüksek enerjili bir ışın taneciği, atmosferdeki atomlara çarptığı zaman elektron ve pozitron (karşıelektron) çiftleri oluşturur. Bunlar da diğer atomlarla çarpıştıklarında başka elektron ve pozitron çiftleri ortaya çıkarırlar; böylece elektron yağmuru denen olay ortaya çıkar. Sonuçta, Cerenkov (Cerenkof) ışıması denen bir çeşit ışık görünür. Şu halde, geceleri gökteki ışık parlamalarına bakarak gama ışını darbelerini algalamak olanaklıdır. Elbette, şimşek düşen uydu ya da yörüngedeki uydu artıklarından yansıyan güneş ışınları gibi, gökte ışık parlamaları yaratabilecek başka olaylar da vardır. Gama ışını darbelerini, birbirinden oldukça uzak iki ya da daha fazla yerde aynı anda gözlemleyerek, bu gibi etkilerden ayırdetmek olanaklıdır. Buna benzer bir araştırma Dublin'li iki bilimci, Neil Porter (Portır) ve Trevor Weekes (Vikıs) tarafından Arizona'daki teleskopları kullanarak gerçekleştirilmiştir. Bu bilimciler değişik sayıda parlamalar görmüş olmalarına rağmen, hiçbirisi erken kara delikten kaynaklanan gama ışını darbeleri olarak belirlenememiştir.

Erken kara delikler için araştırmalar olumsuz sonuçlansa bile, ki öyle görünüyor, bize yine de evrenin ilk evrelerine ilişkin önemli bilgiler sağlayacaktır. Eğer evren başlangıçta karmakarışık ve düzensiz, ya da maddenin basıncı düşük idiyse, şimdiki gözlemlerimizle saptanan sınırdan daha çok sayıda erken kara deliğin ortaya çıkmış olması beklenebilirdi. Gözlemlenebilir sayıda erken kara

deliklerin yokluğu ise ancak, başlangıçta çok yüksek basınçlı ve son derece tekdüze bir evrenle açıklanabilir.

Kara deliklerin ışıyacağı düşüncesi, bu yüzyılın iki büyük kuramının, genel görelik ve tanecik mekaniğinin, her ikisine de temelden dayanarak yapılan öngörülerin ilk örneğiydi. İlk başta "Nasıl olur da kara delik bir şey yayınlayabilir?" görüşünü altüst ettiği için çok tepki gördü. Oxford yakınlarındaki Ruther-ford-Appleton laboratuvarlarıdaki bir konferansta, hesaplarımın sonuçlarını açıkladığım zaman büyük kuşkuyla karşılandım. Konuşmanın sonunda, toplantının yöneticisi, Londra Kings College'dan John G. Taylor (Teylor), anlattıklarımın tümünün saçma sapan şeyler olduğunu ileri sürdü. Bu konuda bir de makale yayınladı. Ama daha sonra, John Taylor da dahil olmak üzere birçok kişi, genel görelik ve tanecik mekaniği düşüncelerimiz doğru olduğu sürece, kara deliklerin bir sıcak cisim gibi ışımaları gerektiği sonucuna katıldılar. Henüz bir erken kara delik bulmayı becerebilmiş olmamamıza rağmen, bulmamız halinde onun büyük miktarda gama ve röntgen ışınları yayacağına ilişkin oldukça yaygın bir düşünce birliği var.

Kara deliklerden yayılan ışımanın varlığı, çekimsel çökmenin bir zamanlar sandığımız gibi son ve geri çevrilemez bir olay olmadığını üstü kapalı bir şekilde söyler. Kara deliğe, bir astronot düşecek olursa kütlesi artacak ama sonuçta artan kütleye eşdeğer bir enerji evrene ışıma biçiminde geri verilecektir. Astronot bir anlamda "yeniden çevrime" girecektir. Astronot kara deliğin içinde uzayıp kopacağından herhangi bir kişisel zaman kavramına sahip olamayacağı için, bu çeşit ölümsüzlük pek bir işe yaramayacaktır! Kara delik tarafından evrene geri verilen parçacıklar bile genellikle astronotu oluşturan parçacıklardan farklıdır: astronotunun yaşayacak tek özelliği, kütlesi ve enerjisi olacaktır

Kara delikten yayınlanan ışımayı hesapladığım zaman kullandığım yaklaşımlar, kara delik bir gramdan daha fazla kütleye sahip olduğu sürece doğru sonuçlar vermeli. Bununla birlikte, bu yaklaşımlar, kara deliğin yaşam süresi sonunda kütlesi çok küçüldüğünde artık işlemez olacaktır. Bu durumda en olası sonuç, kara deli-

ğin, içindeki astronotu ve eğer gerçekten varsa tekilliği de beraberinde götürerek, en azından evrenin bize ait köşesinden yokolup gitmesidir. Bu tanecik mekaniğinin, genel görelik tarafından ileri sürülen tekillikleri ortadan kaldırabileceğinin ilk göstergesidir. Bununla birlikte, benim ve başkalarının 1974 yılında kullandığımız yöntemler, "tanecik çekiminde tekillikler olabilir mi?" türünden sorunları yanıtlamaya yeterli değildi. Bu yüzden 1975'ten sonra, Richard Feynmann'in (Faynmın) geçmişlerin toplamı düşüncesine dayanarak, tanecik çekimi için daha güçlü yaklaşımlar bulma üzerinde çalışmaya başladım. Bu yaklaşımımın, evrenin başlangıcı ve geleceğine, ve astronotumuz gibi içinde bulunanların sonuna ilişkin ortaya koyduğu yanıtlar bundan sonraki iki bölümde anlatılacaktır. Belirsizilik ilkesinin, kestirimlerimizin kesinliğine bir sınır koymasına karşın, aynı zamanda uzay-zaman tekilliğinde görünen temel belirsizlikleri de ortadan kaldıracağını bu bölümlerde göreceğiz.

8
EVRENİN DOĞUŞU VE YAZGISI

Einstein'ın genel görelik kuramı, tek başına, uzay-zamanının büyük patlama tekilliğinde başladığını ve (tüm evren çöktüyse) büyük çatırdı tekilliğinde ya da, (yıldız gibi yerel bir bölge çökseydi) bir kara deliğin içindeki bir tekillikte sona ereceğini öngörmekteydi. Deliğe düşen tüm maddeler tekillikte yitecek, ve yalnızca kütlelerinin çekim etkisi dışarıda duyulakalacaktı. Öte yandan, tanecik etkileri hesaba katıldığında, maddenin kütlesi ve enerji sonunda evrene geri dönecek ve kara delik, içindeki tekillikle birlikte buharlaşıp uçarak sonunda yokolacak gibi görünüyordu. Tanecik mekaniğinin büyük patlama ve büyük çatırtı tekillikleri üzerinde de bu ölçüde çarpıcı bir etkisi olabilir miydi? Kütlesel çekim alanlarının tanecik etkileri yok sayılamayacak denli kuvvetli olduğu ilk ve son aşamalarında, evrende neler olup bitmekte? Evrenin gerçekten bir başlangıcı var mı? Ya da bir sonu? Varsa nasıl?

1970'lerde başlıca çalışma konum kara deliklerdi, ama 1981'de Vatikan'da Cizvitlerin düzenlediği bir evrenbilimi konferansında iken evrenin doğuşu ve yazgısına ilişkin ilgim yeniden uyandı. Katolik Kilisesi Galileo ile uğraşırken, güneşin dünya etrafında döndüğünü ilan ederek bilimsel bir soruya ilişkin hükümde bulunmakla kötü bir yanlış yapmıştı. Yüzyıllar sonra, şimdi ise, evrenbilimi

konusunda akıl danışmak için birtakım uzmanlar çağırmaya karar vermiş. Konferansın sonunda, katılanlara papanın huzurunda bulunma ayrıcalığı tanınmıştı. Orada Papa bize, evrenin büyük patlamadan sonraki evrimi üzerinde çalışmamızın yerinde olacağını, ancak büyük patlamanın kendisini soruşturmamamızı, çünkü onun Yaradılış anı, yani Tanrı'nın işi olduğunu söyledi. O zaman biraz önce konferans sırasında verdiğim konuşmanın konusundan haberdar olmayışına çok sevindim. Çünkü konuşmam, uzay-zamanın sonlu ama sınırsız olabileceği, yani başlangıcının, yaradılışı anının olmadığı konusundaydı. Ölümünden tam 300 yıl sonra doğmuş olmanın da biraz etkisiyle kendimi kuvvetle özdeşleştirdiğim Galileo'nun yazgısını paylaşmak istemiyordum!

Tanecik mekaniğinin evrenin doğuşu ve yazgısını nasıl etkileyebileceğine ilişkin düşüncelerimizi açıklayabimek için önce, evren tarihini yaygın olarak benimsenen "sıcak büyük patlama modeli"ne dayanarak anlatmam gerek. Bu, evrenin ta büyük patlamaya giderek Friedmann'ın modeliyle betimlendiğini varsayar. Böylesi modellerde evren genişledikçe içindeki her madde ya da ışımanın soğuyacağı ortaya çıkar. (Evrenin büyüklüğü iki katına çıktığında sıcaklığı yarıya düşer.) Sıcaklık kabaca parçacıkların ortalama enerjisinin -ya da hızının- bir ölçüsü olduğuna göre evrenin bu soğumasının, içindeki maddeye büyük etkisi olacaktır. Çok yüksek sıcaklıklarda parçacıklar sağa sola öyle hızlı devineceklerdir ki, elektromanyetik ya da çekirdek kuvvetlerinden ötürü birbirlerine olan çekimden kendilerini kurtaracaklardır. Ama parçacıklar soğudukça birbirlerini çekip üst üste yığılmaya başlayacaklardır. Ayrıca, evrende varolan parçacıkların türleri de sıcaklığa bağlı olacaktır. Yeterince yüksek sıcaklıklarda, parçacıkların enerjisi o denli yüksektir ki, çarpıştıklarında çok değişik parçacık/karşıparçacık çiftleri oluşur -ve bu yeni oluşan parçacıkların bazısı karşıparçacığa dokunarak yok olsa da, üreme yokolmayı geçecektir. Ama daha düşük sıcaklıklarda, çarpışan parçacıkların enerjisi daha az olacağından parçacık/karşıparçacık çiftleri daha yavaş oluşacak -ve yok olma hızı oluşma hızını geçecektir.

Tam büyük patlama anında evrenin sıfır büyüklükte ve bu nedenle sonsuz sıcaklıkta olduğu düşünülür. Ama evren genişleyince ışımanın sıcaklığı düşer. Büyük patlamadan bir saniye sonra yaklaşık on milyar dereceye düşmüş olmalı. Bu, güneşin özeğindeki sıcaklığın yaklaşık bin katıdır ama bu denli yüksek sıcaklıklara hidrojen bombası patlamasında erişilebilir. Bu anda evren çoğunlukla foton, elektron ve (yalnızcı zayıf kuvvet ve kütlesel çekimden etkilenen hafif parçacıklar olan) nötrinolardan ve bunların karşıparçacıklarından, bir miktar da proton ve nötrondan oluşur. Evren genişlemeyi sürdürüp sıcaklık düştükçe çarpışmaların neden olduğu elektron/karşıelektron çiftlerinin oluşma hızı, birbirlerini yoketme hızının altına düşecektir. Böylelikle elektron ve karşıelektronların çoğu birbirini daha çok foton oluşturacak biçimde yokedecek ve geriye az sayıda elektron kalacaktır. Nötrino ve karşınötrinolar ise birbirlerini yok edemeyeceklerdir, çünkü bu parçacıklar birbirleriyle ve başka parçacıklarla çok az etkileşimde bulunurlar. O halde bugün de varolmaları gerekir. Onları gözlemleyebilsek evrenin bu çok sıcak ilk aşaması için iyi bir tanıt olurdu. Ne yazık ki bugüne dek geçen zaman içinde enerjileri onları doğrudan gözlemlemeye yetmeyecek denli aza inmiş olacaktır. Ancak, nötrinolar kütlesiz olmayıp, 1981'de Rusya'da yapılmış olup doğrulanamayan bir deneyin önerdiği gibi az bir kütleye sahip iseler onları dolaylı bir biçimde ayırdedebiliriz: daha önce sözü geçen ve evrenin genişlemesini durdurup yeniden çöküşüne neden olabilecek kütlesel çekimi olan "kara madde"nin bir biçimi olabilirlerdi.

Büyük patlamadan yaklaşık yüz saniye sonra sıcaklık bir milyar dereceye, yani en sıcak yıldızların içinin sıcaklığına düşecekti. Bu sıcaklıkta proton ve nötronlar güçlü çekirdek kuvvetinden kaçmaya yetecek enerjiyi yitirecek ve bir proton ve bir nötron içeren döteryum (ağır hidrojen) atomunun çekirdeğini oluşturmak üzere birleşmeye başlayacaklardı. Döteryum çekirdekleri de başka proton ve nötronlarla birleşerek, iki proton ve iki nötron içeren helyum çekirdekleri ve az miktarda da daha ağır lityum ve berilyum elementleri oluşturacaktı. Sıcak büyük patlama modelinden

proton ve nötronların yaklaşık dörtte birinin, helyum çekirdeği ve az miktarda ağır hidrojen ile başka elementlere dönüşmüş olacağı hesaplanabilir. Nötronların geri kalanı bozunarak normal hidrojen atomların çekirdeği olan protonlara dönüşür.

Sıcak bir ilk aşamaya ilişkin bu evren tablosu ilk kez öğrencisi Ralph Alpher (Alfer) ile 1948'de yazdığı ünlü makalesinde bilimci George Gamow tarafından ortaya kondu. Gamow'un oldukça keskin bir mizah anlayışı vardı. Çekirdek bilimcisi Hans Bethe'yi (Bethe) ikna edip onun ismini de makaleye koyarak, makaleyi yazanlar listesini "Alpher, Bethe ve Gamow" yaptı; Yunan abecesinin ilk üç harfi olan alfa, beta ve gamma'ya benzesin diye. Bu, evrenin başlangıcı üzerine bir makale için pek de uygundu! Bu makalede evrenin çok sıcak ilk aşamalarındaki ışımanın (fotonlar biçiminde) bugün hâlâ varolması gereğini ama sıcaklığının mutlak sıfırdan (eksi 273 derece) yalnızca birkaç derece yukarıya kadar düşmüş olacağı yolundaki olağanüstü öngörüde bulundular. Penzlas ve Wilson'un 1965'te buldukları işte bu ışımaydı. Alpher, Bethe ve Gamow makalelerini yazdıkları sırada proton ve nötronların çekirdeksel reaksiyonlarına ilişkin fazla şey bilinmiyordu. Bundan dolayı ilk evrendeki elementlerin orantılarına ilişkin o zamanki hesaplar oldukça hatalıydı ama bu hesapları bugünkü bilginlerimizin ışığında yinelediğimizde gözlemlediğimizle çok iyi uyuşan sonuçlar elde ediyoruz. Ayrıca, evrende niye bu denli fazla miktarda helyum olduğunu başka türlü açıklamak çok zor. Şu halde görüşümüzün, en azından büyük patlamanın bir saniye sonrasından bu yana, doğru olduğundan kuşkumuz yok.

Büyük patlamadan sonraki birkaç saat içinde helyum ve diğer elementlerin oluşumu duracaktır. Ve bundan sonraki bir milyon yıl kadar sürede, evren pek bir şey olup bitmeden, yalnızca genişlemeyi sürdürüyor olacaktır. Sıcaklık giderek birkaç bin dereceye düşünce elektronlar ile çekirdekler, aralarındaki elektromanyetik çekime dayanacak enerjiyi yitirerek birleşip atomları oluşturmaya başlayacaktır. Evren bir bütün olarak genişlemeyi ve soğumayı sürdürecek ama ortalamadan biraz yoğun bölgelerde çekimsel kuv-

vetin daha fazla oluşu nedeniyle genişleme yavaşlamış olacaktır. Bu, bazı bölgelerin genişlemeyi durdurup çökmeye başmasına yol açacaktır. Bu bölgeler çökerken, dışındaki maddelerin kütlesel çekimi olanları hafifçe döndürmeye başlayabilir. Çöken bölge küçüldükçe dönmesi hızlanacaktır -buz patencisinin, buz üstünde dönerken kollarını içe bükünce dönüşünün hızlanması gibi. Sonunda bölge yeterince küçülünce, kütlesel çekimi dengelemeye yetecek bir hızda dönecek ve bu yolla disk biçiminde galaksiler doğmuş olacaktır. Dönme hareketini başlatamayan öteki bölgeler ise eliptik galaksi denilen oval biçimde nesneleri oluşturacaklardır. Bunlarda bölgenin çöküşünün durma nedeni, galaksinin tümü dönmediğine göre, tek tek parçalarının, galaksinin özeği etrafında dönmesi olacaktır.

Zaman ilerledikçe galaksilerdeki hidrojen ve helyum gazları, kendi kütlelerinin çekimi altında çöken küçük bulutlara bölüneceklerdir. Bulutlar büzüldükçe ve içlerindeki atomlar birbiriyle çarpıştıkça gazın sıcaklığı artacak ve giderek çekirdek kaynaşması reaksiyonu başlatacak kadar ısınacaktır. Reaksiyon sonucu hidrojen daha fazla helyuma dönüşecek ve açığa çıkan ısı, basıncı yükselterek bulutları daha fazla büzülmekten alıkoyacaktır. Güneşimize benzer bir yıldız olarak, hidrojeni yakıp helyuma dönüştürerek çıkan enerjiyi ısı ve ışık biçiminde yayacak ve bu kararlı durumda çok uzun süre kalabileceklerdir. Daha kütleli yıldızlar daha kuvvetli olan kütlesel çekimlerini dengeleyebilmek için daha sıcak olmak zorundadırlar. Bu da çekirdek kaynaşması reaksiyonunu o denli hızlandırır ki, bu yıldızlar hidrojenlerini yüz milyon yıl kadar kısa bir sürede bitirirler. O zaman biraz büzülecekler ve ısınmaları arttıkça bu kez helyumu karbon ya da oksijen gibi daha ağır elementlere dönüştürmeye başlayacaklardır. Ancak bundan, daha fazla enerji açığa çıkmayacak ve kara deliklerle ilgili bölümde anlatıldığı üzere bir bunalıma varılacaktır. Daha sonra ne olacağı ise tümüyle açık değil ama yıldızın özeğine yakın bölgelerin çökerek nötron yıldızı ya da kara delik gibi çok yoğun bir duruma gelecekleri olası görünüyor. Yıldızın dış bölgeleri bazan parlaklığıyla kümedeki öteki

yıldızları bastıran korkunç bir süpernova patlaması iel savrulacaktır. Yıldızın ömrünün sonuna doğru oluşan ağır elementlerin bir bölümü galaksideki gaza eklenmiş olacak ve bir sonraki kuşak yıldızların hammaddesine katkıda bulunacaktır. Bizim kendi güneşimiz bu daha ağır elementlerden yüzde iki oranında içerir, çünkü o da eski süpernovaların kalıntılarını içeren dönen bir gaz bulutundan beş milyar yıl kadar önce oluşmuş ikinci ya da üçüncü kuşak bir yıldızdır. O buluttaki gazın çoğu ya güneşin oluşumuna gitti ya da uçup uzaklaştı, ama ağır elementlerin küçük bir miktarı biraraya gelerek bugün güneşin etrafında dönen cisimleri, aralarında dünyamızın da bulunduğu gezegenleri oluşturdu.

Dünya ilk önceleri çok sıcaktı ve atmosferi yoktu. Zamanla soğudu ve kayalardan çıkan gazlardan bir atmosfer edindi. Bu ilk atmosfer, içinde yaşayabileceğimiz gibi değildi. İçinde oksijen yerine bulunan çok sayıda başka gaz vardı, örneğin hidrojen sülfit (çürük yumurtaya kokusunu veren gaz) bizim için çok zehirlidir. Bununla birlikte bu koşullar altında serpilebilen ilkel başka yaşam biçimleri vardır. Bunların, atomların irimoleküller denen daha büyük yapılar oluşturacak biçimde rasgele birleşmesi sonucu okyanuslarda gelişmiş oldukları düşünülüyor. Bunlar okyanustaki başka atomları da aynı yapılarda biraraya getirme yeteneğini taşıdıklarından kendilerini üretip çoğalacaklardı. Kimi durumlarda üremede hatalar olacaktı. Bu hatalar çoğunlukla yeni irimolekülün kendini üretememesi ve sonunda yitip gitmesi ile sonuçlanacaktı. Ancak bazı hatalar ise kendilerini üretmekte daha çok yetenekli yeni irimolekülleri oluşturacaktı. Böylece oluşan yeni irimoleküller bu üstünlükleri ile başlangıçtaki irimoleküllerin yerine geçme eğiliminde olacaklardı. Bu yolla, gittikçe daha da karmaşık kendini üreten organizmaların gelişimi yönünde ilerleyen bir evrim süreci başlatılmış olacaktı. İlk ilkel yaşam biçimleri hidrojen sülfatı da içeren değişik maddeleri kullanıp oksijen salıyordu. Bu, atmosferi yavaş yavaş değiştirerek bugünkü bileşimine getirdi ve balıklar, sürüngenler, mememiler ve en sonunda insan ırkı gibi daha ileri yaşam biçimlerinin gelişmesine olanak tanıdı.

Çok sıcak başlayan ve genişledikçe soğuyan bu evren tablosu bugün elimizdeki gözlemsel tanıtlara uyuyor. Yine de, birtakım önemli sorular yanıtsız kalıyor.

1. Evren başlangıcında niçin öylesine sıcaktı?
2. Evren büyük ölçekte niye o kadar düzgün?
   Uzaydaki her noktadan ve her yönde niye aynı gözüküyor? Özellikle, değişik yönlere baktığımızda, zemindeki mirodalga ışımasının sıcaklığı niçin yaklaşık aynı? Bu biraz sınıftaki öğrencilerin sınav kağıtlarını değerlendirmeye benziyor. Hepsinin yanıtı tıpatıp aynı ise birbirlerinden kopya çektiklerinden emin olabilirsiniz rahatça. Ama yukarda betimlenen modelde büyük patlamadan sonra ışığın bir yerden ötekine ulaşması için yeterince zaman olmayacaktır, evrenin ilk evrelerinde bölgeler birbirlerinden çok uzak değilse de. Görelik kuramına göre bir bölgeden ötekine ışık gidemiyorsa başka hiçbir bilgi gidemez. Bundan dolayı evrenin ilk evrelerinde başka başka bölgelerin aynı sıcaklıkta olmalarının, belirsiz herhangi bir nedenle aynı sıcaklıkla başlamaları dışında başka herhangi bir yolu olamaz.
3. Evren, niçin çöken modellerde sonsuza dek genişleyen modelleri ayıran kritik hıza çok yakın bir hızla genişlemeye başladı, öyle ki şimdi, on milyar yıl sonra bile, hala kritik hıza yakın bir hızla genişlemekte? Büyük patlamadan bir saniye sonraki genişleme hızı, yalnızca yüz bin milyarda bir oranında az olsaydı bile, evren daha bugünkü büyüklüğüne erişmeden çökmüş olurdu.
4. Evrenin büyük ölçekte çok düzgün ve tekdüze olduğu gerçeğine karşın, yıldızlar ve yıldız kümeleri gibi yerel düzensizlikler var. Bunların ilk zamanlarda bir bölgeden ötekine yoğunluğun biraz farklı oluşundan kaynaklandığı düşünülüyor. Peki, yoğunluğun bu düzensiz değişiminin kaynağı neydi?

Genel görelik kuramı kendi başına bu özellikleri açıklayamaz ve de bu soruları yanıtlayamaz, çünkü büyük patlama tekilliğinde evrenin sonsuz yoğunlukta olduğu öngörülür. Tekillikte genel gö-

relik ve tüm diğer fizik yasaları geçerliliğini yitirir, tekillikten ne çıkacağı kestirilemez. Daha önce açıklandığı gibi, bu demektir ki; büyük patlama ve ondan önceki olaylar kuramın kapsamından çıkarılıp atılabilir, çünkü gözlemlerimiz üzerinde hiçbir etkileri olamaz. Uzay -zamanının bir sınır- büyük patlamada bir başlangıcı olacaktır.

Bilim, evrenin, herhangi bir anda durumunu biliyorsak daha sonra nasıl ilerleyeceğini, belirsizlik ilkesinin belirlediği sınırlar içinde söyleyebilen bir yasalar takımı ortaya çıkarmış durumda. Bu yasalar aslında Tanrı tarafından buyurulmuş olsa da öyle görülüyor ki Tanrı o andan sonra hiç işe karışmadan, evreni yasalarına uygun biçimde gelişmeye bırakmış. Ama evrenin ilk durumunu ya da başlangıç koşullarını nasıl seçmiş? Zamanın başlangıcındaki "sınır koşulları" neydi?

Buna, Tanrı evrenin ilk durumunu, anlamayı umamayacağımız nedenlerle seçti biçiminde bir yanıt verilebilir. Her şeye gücü yeten varlığın gücü kuşkusuz buna da yeter ama böylesine anlaşılmaz bir biçimde başlattıysa evreni, niçin anlayabileceğimiz yasalara uyarak evrimlemeye bıraktı? Bilim tarihi tümüyle olayların keyfi bir tarzda oluşmayıp, tanrısal olsun olmasın belli bir kurulu düzeni yansıttığının yavaş yavaş farkına varılışıdır. Bu düzenin yalnızca yasalar için değil, evrenin ilk durumunu belirleyen uzay-zamanın sınırındaki koşullar için de geçerli olduğunu varsaymak çok doğal olacaktır. Hepsi de yasalara uyan, ilk koşulları değişik çok sayıda evren modeli bulunabilir. Evrenimizi tanımlayacak belli bir ilk durumu ve dolayısıyla bir modeli seçmemiz için bir ilke olmalı.

Aradığımız ilke, düzensiz sınır koşullarında olabilir. Bu koşullar, açıkça belirtmeden evrenin ya sonsuz büyüklükte olduğunu, ya da sonsuz sayıda evren bulunduğunu varsayarlar. Düzensiz sınır koşulları altında, büyük patlamadan sonra uzayın belirli bir bölgesini belirli bir durumda bulmanın olasılığı ile aynı bölgeyi başka herhangi bir durumda bulmanın olasılığı, bir anlamda aynıdır; aynı evrenin ilk durumu tamamen gelişigüzel seçilmiştir. Bu, evrenin ilk evrelerde büyük bir olasılıkla düzensiz ve karmakarışık olduğu

anlamına gelir, çünkü evrenin düzensiz ve karmakarışık bulunabileceği durumlar, düzenli ve düzgün bulunabileceği durumlardan sayıca çok daha fazladır. (Her durum eşit olasılıkta ise, evrenin düzensiz ve karmakarışık durumda başlaması daha olasıdır, çünkü bu durumlar daha çoktur). Böylesine düzensiz ilk koşulların, bugün büyük ölçekte böylesine düzgün ve düzenli evrenimizin çıkış noktası olabileceğini kavramak çok zor. Ayrıca, böyle bir modeldeki düzensiz yoğunluk değişimlerinin gama ışını gözlemlerinden saptanan üst sınırdan çok daha fazla sayıda erken kara deliğin oluşumuyla sonuçlanması beklenirdi.

Evren eğer gerçekten sonsuz büyüklükteyse, ya da sonsuz sayıda evren varsa bir yerlerde düzgün ve düzenli bir biçimde başlamış birtakım büyük bölgelerin bulunma olasılığı da vardır. Bu biraz, çok bilinen, maymun sürüsünün daktiloların başında habire tuşlara basması öyküsüne benziyor. Maymunların yazdıklarının hemen hepsi saçmasapan olsa da tamamen rastgele bir biçimde ve tamamen şans eseri Shakespeare'in (şekspir) sonelerinden biri ortaya çıkacaktır. Benzeri biçimde evren bağlamında, şans eseri düzgün ve düzenli bir bölgede yaşıyor olabilir miyiz? İlk bakışta bu oldukça zayıf olasılıkta görünebilir, çünkü böylesine düzgün bölgeler düzensiz ve karmakarışık bölgelerden çok daha az sayıdadır. Ama, ancak düzgün bölgelerde yıldız kümeleri oluşabileceğini ve koşulların kendimiz gibi karmaşık, kendini üretebilen ve "Evren niçin böyle düzgün?" sorusunu sorabilen organizmaların gelişimi için uygun olabileceğini düşünelim. Bu, "Evreni böyle görmemizin nedeni varlığımızdır" tümcesiyle de açıklanabilecek "insancı" dediğimiz ilkenin uygulandığı bir örnektir.

İnsancı ilkenin iki yorumu vardır; zayıfı ve güçlüsü. Zayıf insancı ilke, uzayda ve/veya zamanda sonsuz ya da çok, büyük bir evrende, zeki yaratıkların gelişimi için gereken koşulların ancak uzayda ve zamanda sınırlı, belli bölgelerde sağlanacağını belirtir. Bundan dolayı bu bölgelerdeki zeki yaratıklar evrende bulundukları yerin kendi varlıkları için gereken koşulları sağladığını gözlemlediklerinde şaşırmayacaklardır. Zengin bir kişinin varlıklı mahal-

lerde yoksul görmesini andırır biraz bu.

Zayıf insancı ilkenin kullanıldığı bir örnek, büyük patlama olayının niçin yaklaşık on milyar yıl önce olduğunun "açıklaması"dır. Zeki varlıkların evrimleşmesi için yaklaşık o kadar süre gerekir. Yukarıda açıklandığı gibi, önce ilk kuşak yıldızlar oluşmalıydı. Bu yıldızlar baştaki hidrojen ve helyumun bir bölümünü bizim anamaddemiz olan karbon ve oksijen gibi elementlere dönüştürdüler. Sonra, yıldızlar süpernova biçiminde patladılar ve döküntüleri aralarında şimdi yaklaşık beş milyar yaşında olan güneş sistemimizin de bulumduğu diğer yıldız ve gezegenleri oluşturdu. Dünyanın varoluşunun ilk bir iki milyar yılı içinde sıcaklık herhangi karmaşık bir varlığın gelişimi için çok yüksekti. Sonraki üç milyar kadar yıl, basit organizmalardan zamanı büyük patlamaya dek ölçme yetisinde varlıklara doğru yavaşça ilerleyen biyolojik evrim sürecine ancak yetti.

Zayıf insancı ilkenin geçerliğini ya da yararlığını çok az kişi sorgular. Ancak bazıları daha ileri gidip ilkenin güçlü yorumunu öneriyorlar. Bu yoruma göre, her biri kendi ilk durumuna ve belki de kendi bilim yasaları takımına sahip çok sayıda değişik evrenler ya da tek bir evrenin çok sayıda değişik bölgeleri vardır. Bu evrenlerin çoğunda koşullar karmaşık organizmaların gelişimine uygun olmayacaktır; yalnızca bizimki gibi bazı evrenlerdeki zeki yaratıklar gelişip şu soruyu sorabileceklerdir: "Evren niçin gördüğümüz gibi?" O zaman yanıt basittir. Başka türlü olsaydı, biz burada olmazdık!

Bilim yasaları, şimdi bildiğimiz biçimiyle, elektronun elektrik yükünün niceliği ve proton ve elektronun kütlelerinin oranı gibi pek çok temel sayı içerir. En azından şimdilik, bu sayıların değerlerini kuramdan çıkarsayamıyoruz -ancak gözlemlerden bulabiliyoruz. Bunların hepsini çıkarsayabileceğimiz tam bir birleşik kuramı bir gün ortaya koyabileceğimiz gibi, aslında hepsi evrenden evrene ya da tek bir evrenin içinde değişiyor olabilir. Şaşılası gerçek ise bu sayıların değerlerinin yaşamın gelişimini olanaklı kılmak için çok ince ayar edilmiş gibi gözükmesi. Örneğin, elektronun e-

lektrik yükü azıcık değişik olaydı yıldızlar ya da hidrojen ve helyumu yakamayacak, ya da patlamayacaktı. Doğal olarak, bilimkurgu yazarlarının bile daha düşlemediği, güneş gibi bir yıldızın ışığına ya da yıldızlara yapılıp yıldız patlayınca uzaya saçılan ağır kimyasal elementelere gereksinimin duymayan, başka zeki yaratıklar varolabilir. Yine de, şurası açık ki, bu sayıların herhangi bir zeki yaratığın gelişimin olanaklı kılabilecek değerleri, sınırlı belli aralıklar içindedir. Çoğu değer takımları, çok güzel olsalar da bu güzelliğe bakıp hayran kalacak kimsenin olmayacağı evrenlere yol açacaktır. Bu, Yaradılış'ta ve bilim yasalarının seçiminde tanrısal bir ereğin tanıtı olarak, ya da güçlü insancı ilkenin bir desteği olarak görülebilir.

Evrenin gözlemlenen durumunun bir açıklaması olarak güçlü insancı ilkeye çeşitli yönlerden karşı çıkılabilir. İlkin, bu başka başka evrenlerin hangi anlamda varoldukları sorulabilir. Eğer gerçekten birbirlerinden ayrıysalar, bir başka evrende olup bitenlerin kendi evrenimizde gözlemlenebilecek bir sonucu olamaz. O halde, tutumluluk ilkesini kullanıp onları kuramdan kesip atabiliriz. Öte yandan, tek bir evrenin başka başka bölgeleri iseler bilim yasaları her bölgede aynı olmalıdır, yoksa bir bölgeler arasındaki ayırım yalnızca ilk durumları arasında olacak ve böylece güçlü insancı ilke kuvvetini yitirerek zayıf insancı ilkeye dönüşecekti.

Güçlü insancı ilkeye karşı çıkış ise bilim tarihi akışına tamamen zıt yönde oluşundandır. Batlamyus'un ve ondan öncekilerin dünya özekçi evrenebiliminden Kopernik ve Galileo'nun güneşözekçi evrenbilimine, ve oradan yerkürenin, gözlemlenen evrendeki yaklaşık bin milyar yıldız kümesinden yalnızca biri olan sıradan bir sarmal yıldız kümesinin kenar bir mahallesindeki ortalama bir yıldızın etrafında dönen orta çapta bir gezegen olarak ele alındığı çağdaş görüşe geldik. Güçlü insancı ilke yine tüm bu engin yapının bizim hatırımız için varolduğunu ileri sürecektir. İşte buna inanmak çok zor. Güneş Sistemi'mizin kuşkusuz varlığımız için bir önkoşul oluşu, ağır elementelri yaratmış olan önceki kuşak yıldızların da yıldız kümemizin tümü için gerekli olduğu biçiminde ge-

nişletebilir. Ama ne tüm bu diğer yıldız kümelerine ne de evrenin böylesine düzgün ve büyük ölçekte her yönde aynı oluşuna gerek var.

Evrenin birçok sayıda değişik ilk durumlarının gözlemlediğimiz gibi bir evrene yolaçabileceği gösterilebilseydi, insancı ilkeyi, en azından zayıf yorumuyla, kabullenmekte zorluk çekmeyecektik. Bu durumda, bir anlamda rastgele ilk koşullardan yola çıkan bir evrende düzgün ve zeki canlıların evrimine uygun birtakım bölgeler bulunmalıdır. Öte yandan, evrenin ilk durumunun çevremizde gördüklerimize varabilmek için çok dikkatle seçilmesi gerekseydi, evrende canlıların ortaya çıkacağı hiçbir bölge olmayabilecekti. Yukarıda anlatılan büyük patlama modelinde, evrenin ilk evrelerinde bu ısının bir bölgeden ötekine akışı için yeterli zaman yoktu. Bu, mikrodalga zemin ışımasının baktığımız her yönde aynı sıcaklıkta oluşu gerçeğinin hesabını verebilmek için, evrenin ilk durumunda sıcaklığın her yerde aynı olması gerekeceği alamına gelir. Aynı zamanda, genişleme hızının çöküşten kaçınmak için gerekli kritik değere hâlâ bu denli yakın olabilmesi için, genişlemenin başlangıç hızının da büyük bir dikkatle seçilmiş olması gerekecekti. Yani, sıcak büyük patlama modeli ta zamanın başlangıcına dek doğruysa, evrenin ilk durumu doğrusu çok dikkatle seçilmiş olmalıdır. Evrenin niçin tam bu biçimde başlamış olduğunu, bizim gibi varlıkları yaratmaya niyetlenmiş bir Tanrı'nın işi olmasının dışında, açıklamak çok zor olacaktı.

Çok sayıda değişik ilk durumların bugünküne benzer bir evrende sonuçlanabildiği bir evren modeli bulabilme çabasıyla. Massachusetts Institute of Tecnology'den bilimci Alan Guth (Gut), evrenin ilk evrelerde çok hızlı bir genişleme sürecinden geçmiş olabileceğini öne sürdü. Buna, "şişen" bir genişleme denir, yani evren bir zamanlar, bugün olduğu gibi azalan bir hızla değil artan bir hızla genişlemekteydi. Guth'a göre, evrenin yarıçapı saniyenin çok küçük bir parçası içinde milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon katı (1'den sonra otuz sıfır) artmıştı.

Guth, evrenin büyük patlamayla çok sıcak ve fakat oldukça dü-

zensiz bir durumda başladığını öne sürdü. Bu yüksek sıcaklıklar, evrendeki parçacıkların çok hızlı devindikleri ve çok yüksek enerjiye sahip oldukları anlamına gelmekteydi. Daha önce tartıştığımız gibi, böylesine yüksek sıcaklıklarda, güçlü ve zayıf çekirdek kuvvetlerinin ve elektromanyetik kuvvetin tek bir kuvvet olarak birleşmiş olmaları beklenir. Evren genişledikçe soğuyacak ve parçacıkların enerjileri azalacaktı. Sonunda, faz geçişi denen olay ile kuvvetler arasındaki bakışım bozulacaktı: güçlü kuvvet zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerden ayrılacaktı. Faz geçişinin bilinen bir örneği, suyu soğuttunuzda donmasıdır. Sıvı su her noktada ve her yönde aynı biçimde bakışıktır. Ama buz kristalleri oluştuğunda bunlar belirli konumlarda bulunacaklar ve belli bir yönde sıralanacaklardır. Bu suyun bakışımını biraz bozar.

Su örneğinde, sıcaklık donma derecesinin (sıfır derece santigrad) altına dikkatli bir biçimde düşürülürse buz oluşmadan suyu "süpersoğutmak" olanaklıdır. Guth, evrenin de benzer biçimde davranmış olabileceğini öne sürdü: kuvvetler arasındaki bakışım bozulmadan sıcaklık kritik değerin altına düşebilir. Bu olduysa, evren bakışımın bozulmamış olduğu durumdakinden daha fazla enerji ile kararsız bir durumda olacaktır. Bu fazladan enerjinin, bir karşıçekim etkisi olacağı gösterilebilir. Tıpkı, Einstein'ın, evrenin statik modelini kurmaya çalışırken, genel görelik kuramına soktuğu evrenbilimsel sabit gibi davranacaktır. Evren, sıcak büyük patlama modelindeki gibi zaten genişliyor olacağından, bu evrenbilimsel sabitin itici etkisi evrenin böylece gittikçe artan bir hızla genişlemesine yol açacaktır. Madde parçacıklarının ortlamadan fazla olduğu bölgelerde bile, geçerli evrenbilimsel sabitin itmesi, maddenin kütlesel çekimine baskın çıkacaktır. Böylece, bu bölgeler de, artan bir hızla, şişen bir biçimde genişleyecektir. Onlar genişleyip madde parçacıkları birbirinden daha da uzaklaştıkça, ortada hâlâsüpersoğuk durumda ve içinde pek az parçacık bulunan genişleyen bir evrenden başka bir şey kalamaycaktır. Evrendeki düzensizlikler genişleme sonucu, balonu şişirdiğinizde üzerindeki kırışıklıkların kaybolması gibi, tamamen düzelmiş olacaktır. Böylelikle

evren bugünkü düzgün ve düzenli durumuna düzgün olmayan, çok sayıda değişik ilk durumdan yola çıkarak gelmiş olabilir.

Genişlemenin, maddelerin kütlesel çekimiyle yavaşlayacağına, bir evrenbilimsel sabitin etkisiyle hızlandığı böyle bir evrenin ilk evrelerinde, ışığın bir bölgeden ötekine ulaşabilmesi için yeterince zaman olacaktır. Bu, daha önce ortaya koyduğumuz, evrenin ilk evrelerinde başka başka bölgelerin niçin aynı özellikleri sahip olduğu sorusuna bir çözüm getirebilir. Ayrıca, evrenin genişleme hızı kendiliğinden, evrenin enerji yoğunluğu ile belirlenen kritik hıza çok yakın olacaktır. O halde bu, evrenin başlangıçtaki genişleme hızının dikkatle seçilmiş olmasını gerektirmeden, genişleme hızının niçin hala kritik hıza böylesine yakın oluşunu açıklayabilir.

Şişme kavramı aynı zamanda, evrende niçin bu denli çok madde olduğunu da açıklayabilir. Evrenin gözlemleyebildiğimiz bu bölgesinde, milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon (1'den sonra seksen sıfır) kadar parçacık var. Bunlar nereden gelmişler acaba? Yanıtı şu: Tanecik kuramına göre, parçacıklar enerjiden, parçacık / karşıparçacık çiftleri biçiminde yaratılabilir. Ancak bu kez, enerjinin nereden geldiği sorusu belirir. Buna da yanıt, evrenin toplam enerjisinin tam tamına sıfır olduğudur. Evrendeki madde, artı enerjiden oluşmuştur. Ancak madde kendi kendisini kütlesinden dolayı çekmektedir. Birdenbire yakın iki madde parçası, birbirine uzak aynı iki madde parçasından daha az enerjiye sahiptir, çünkü onları birbirine doğru çeken kütlesel çekim kuvvetine karşı koyarak ayırmanız için enerji harcamanız gerekir. Şu halde, kütlesel çekim alanının bir anlamda eksi enerjisi vardır. Uzayda, kabaca düzgün dağılmış bir evren gözönüne alındığında, bu eksi kütlesel çekim enerjisinin, maddenin taşıdığı artı enerjiyi tastamam götürdüğü gösterilebilir. Böylelikle evrenin toplam enerjisi sıfırdır.

Ayrıca, sıfır kere sıfır, sıfırdır. Bundan dolayı evren, artı madde enerjisinin miktarını iki katına çıkarırken, enerjinin sakınımını çiğnemeden eski kütlesel çekim enerjisini de iki katına çıkarabilir.

Evren büyüdükçe madde enerjisi yoğunluğunun azaldığı olağan genişlemesinde bu gerçekleşmez. Ama, şişen genişlemede gerçekleşebilir, çünkü süpersoğutulmuş durumda evren genişlerken enerji yoğunluğu değişmez. Evrenin büyüklüğü iki katına çıktığında, artı madde enerjisi de eski çekim enerjisi de iki katına çıkar; böylece toplam enerji sıfır olarak kalır. Şişme aşamasında evrenin büyüklüğü çok katı artar. Bundan dolayı, parçacık oluşturmaya hazır toplam enerji miktarı çok büyür, Guth'un belirttiği gibi; "Bedava yemek olmaz, denir ama evrenin kendisi, en bedava yemek".

Bugün evren, şişen bir biçimde genişlemiyor. O halde, çok büyük olan evrenbilimsel sabitin etkisini yokedecek ve böylece genişlemenin hızını artandan, bugün olduğu gibi kütlesel çekimin etkisiyle azalana değiştirecek bir düzen olmalı. Şişen genişlemede, nasıl ki süpersoğutulmuş su eninde sonunda donarsa, kuvvetler arasındaki bakışımın da sonunda bozulması beklenebilir. Bozulmamış bakışım durumunun fazladan enerjisi, o zaman ısı biçiminde açığa çıkarak evreni kuvvetler arasındaki bakışım için gereken kritik sıcaklığın biraz altında bir sıcaklığa getirecektir. Böylelikle evren, sıcak büyük patlama modelindeki gibi, genişleyip soğumayı sürdürecek ancak bu kez evrenin niçin kritik hızda genişlediği ve değişik bölgelerin niçin aynı sıcaklıkta olduğu açıklanabilecektir.

Guth'un önerisinde faz geçişinin, çok soğuk suda buz kristallerinin belirlemesini andırır biçimde aniden olacağı ileri sürülmüştü. Bu düşünceye göre kaynayan sudaki buhar kabarcıkları gibi eski fazın içinde, yeni fazla ilişkin bozulan bakışım "kabarcıkları" oluşacaktı. Kabarcıkların genişleyip birbirlerine ulaşacakları ve sonunda tüm evreni yeni faza geçirecekleri varsayılıyordu. Buradaki sorun, başkalarıyla birlikte benim de işaret ettiğim gibi, evren o denli hızlı genişlemekteydi ki, ışık hızıyla bile büyüseler kabarcıkların birbirlerinden uzaklaşacakları ve birleşemeyecekleriydi. Evren, değişik kuvvetler arasında bakışımın hâlâ sürdüğü bazı bölgelerin bulunduğu çok karışık bir durumda kalacaktı. Evrenin böylesi bir modeli, gördüğümüzle uyuşmayacaktı.

Ekim 1981'de, tanecik çekimi konusunda bir konferansa katıl-

mak için Moskova'ya gitmiştim. Konferanstan sonra, Sternberg Gökbilimi Enstitüsü'nde şişen model ve sorunları üzerine bir seminer verdim. Dinleyiciler arasında Moskova'daki Lebedev Enstitüsü'nden Andrei Linde (Linde) adında genç bir Rus vardı. Bana, kabarcıklar evrendeki bölgemizin tümü tek bir kabarcığın içinde kalacak denli büyük iseler, kabarcıkların birleşmemesi sorununun kalmayacağını söyledi. Bunun geçerli olabilmesi için bakışımın bozulması olayının kabarcığın içinde, çok yavaş gerçekleşmesi gerekiyordu; bu da büyük birleşik kuramlara göre pekala olanaklıydı. Linde'nin bakışımın yavaş bozulması düşüncesi çok iyiydi ama sonradan kabarcıklarının o zamanki evrenden daha büyük olması gerekeceğinin farkına vardım! Bakışımın yalnızca kabarcıkların içinde değil de, her yerde aynı anda bozulacağını gösterdim. Bu, gözlemlediğimiz gibi düzgün bir evrene yol açacaktı. Bu düşünce beni o denli heyecanlandırdı ki, hemen öğrencilerimden biri olan Ian Moss'a (Moss) açtım. Ancak daha sonra bir bilimsel dergiden, basıma uygun olup olmadığını değerlendirmem için Linde'nin makalesi gönderilince, bir arkadaşı olarak çok utandım. Kabarcıkların evrenden daha büyük oluşuna ilişkin bir hata bulunduğu, ama bakışımın yavaş bozulması düşüncesinin çok iyi olduğu biçiminde yanıtladım. Makalenin olduğu gibi yayınlanmasını salık verdim, çünkü Linde'nin yanlışı düzeltmesi aylar alacak ve Batı'ya göndereceği herşeyin bilimsel makalelerde ne çabuk ne de becerikli olan Sovyet sansüründen geçmesi gerekecekti. Bunun yerine Ian Moss ile birlikte aynı dergiye, kabarcığa ilişkin bu soruna işaret eden ve çözümünü gösteren kısa bir makale yazdık.

Moskova'dan döndüğüm gün, Franklin Institute'tan alacağım madalya için Philadelphia'ya doğru yola çıktım. Sekreterim Judy Fella, gözden kaçmayan çekiciliğini kullanarak, Britsh Airways'i, reklam için, kendine ve bana Concorde uçağında bedava bilet vermeye ikna etmişti. Ancak, şiddetli yağmur nedeniyle havaalanına zamanında varamadım ve uçağı kaçırdım. Buna karşın, sonunda Philadelphia'ya varabildim ve madalyamı aldım. Orada şişen evren üzerine bir seminer vermem istendi. Seminer boyunca, Mosko-

va'da olduğu gibi, şişen modelin sorunları üzerinde konuştum, fakat sonunda Linde'nin yavaş bakışım bozulmasına ve buna ilişkin düzeltmeme değindim. Dinleyiciler arasında University of Pennsylvania'dan genç bir yardımcı profesör, Paul Steinhardt (Staynhart) vardı. Seminerin ardından, şişme üzerine konuştuk. Ertesi Şubat ayında, bana, Andreas Albercht (Albreht) adlı bir öğrencisi ile birlikte yazdıkları, için de Linde'nin yavaş bakışım bozulması düşüncesine çok benzer bir şey önerdikleri bir makaleyi gönderdi. Daha sonra bana, Linde'nin düşüncesini ona anlattığımı anımsamadığını ve Linde'nin makalesini ise, ancak tam kendisininkini bitirirken gördüğünü söyledi.* Batıda, bakışımın yavaş bozulması düşüncesine dayalı "yeni şişen model" için Linde'nin şeref payına bugün, Steinhardt ve Albercht de ortak sayılıyorlar. (Eski şişen model, Guth'un, kabarcıkların oluşumuyla bakışımın hızlı bozulduğu yolundaki özgün önerisiydi.)

Yeni şişen model, evrenin niçin böyle olduğunu açıklamaya yönelik iyi bir girişimdi. Ancak, ben ve başka birçokları gösterdik ki, bu model en azından ilk biçimiyle mikrodalga zemin ışımasının sıcaklığına ilişkin, gözlemlenenden çok daha büyük değişmeler öngörmekteydi. Daha sonraki çalışmalar da, ilk anlarda evrende istenen türde bir faz geçişi olabileceği konusunda kuşku uyandırdı. Kişisel görüşüme göre, çürütülüşünden haberdar olmayıp hâlâ geçerliymiş gibi hakkında makaleler yazan birçok kişi bulunmasına karşın, yeni şişen model, bilimsel bir kuram olarak artık ölüdür. Karmakarışık şişen model denilen daha iyi bir model Linde tarafından 1983'te ileri sürüldü. Bu kez faz geçisi ya da süpersoğutma yoktu. Bunların yerine, tanecik değişimlerinden dolayı ilk evrenin bazı bölgelerinde değeri büyük olan 0-dönme'li bir alan vardı. Bu bölgelerdeki alanın enerjisi bölgelerin şişen bir tarzda genişlemesine yol açacaktı. Bölgelesel etkide bulunacak ve bundan dolayı bu bölgelerin şişen bir tarzda genişlemesine yol açacaktı. Bölgeler ge-

*Ç.N.. Şimdi Profesör olan Steinhardt, seminerin video kaydını Hawking'e göndererek seminerde Linde'nin çalışmasından söz edilmediğini tanıtladı. Bunun üzerine Hawking bu paragrafı ileriki basımlardan çıkaracağını duyurdu.

nişledikçe, içlerindeki alanın enerjisi yavaş yavaş azalarak şişen genişleme, büyük patlama modelindeki gibi bir genişlemeye dönüşecekti. Bu bölgelerden biri, bugün gözlemlediğimiz evreni oluşturacaktı. Bu modelde daha önceki şişen modellerin iyi yanları vardır ve ayrıca kuşkulu bir faz geçişine de bel bağlamaz; üstelik, mikrodalga zemin ışımasının sıcaklığındaki değişmeler için, gözlemlerle uyuşan akla uygun değerler verebilmektedir.

Şişen modeller üzerindeki bu çalışmalar, evrenin şimdiki durumuna oldukça çok sayıda değişik ilk durumlardan varılabileceğini gösterdi. Bu önemlidir, çünkü evrenin yaşadığımız parçasının ilk durmunun büyük bir dikkatle seçilmiş olmasının gerekmediğini ortaya koyar. O halde dilersek, zayıf insancı ilkeyi kullanarak, evrenin bugün niçin gördüğümüz gibi olduğunu açıklayabiliriz. Ancak, her ilk durumun, gözlemlediğimiz gibi bir evrene yol açacağı doğru olamaz. Şu anda, evrenin çok değişik bir durumda, örneğin; toprak ve düzensiz bir durumda olduğunu varsayarak bunu gösterebiliriz. Bilim yasaları kullanılarak evrenin evrimi geriye doğru çevrilip, daha önceki zamanlardaki durumu saptanabilir. Klasik genel göreliğin tekillik teoremlerine göre bir büyük patlama tekilliği hâlâ bulunmalıdır. Şimdi, yine bilim yasalarını uygulayarak böyle bir evrenin evrimini ileriye doğru çevirirseniz, başladığınız topak topak ve düzensiz evrende bulursunuz kendinizi. O halde, bugün gördüğümüz gibi bir evrene yol açmayacak ilk durumlar olmalıdır. Böylece şişen model bile bize, ilk durumun, niçin gözlemlediğimizden çok değişik bir şey oluşturacak biçimde olmadığını gösteremez. Açıklama için illa da insancı ilkeye mi başvurmalıyız? Herşey bir şans eseri miydi? Bu, umutsuzluğun sesi, evrenin temelinde yatan düzeni anlamak için tüm umutlarımızın suya düşmesi gibi geliyor.

Evrenin nasıl başlamış olması gerektiğini kestirebilmek için, zamanın başlangıcında geçerli yasalara gerek var. Eğer klasik genel görelik kuramı doğru idiyse, Roger Penrose ile kanıtladığımız tekillik teoremleri, zamanın başlangıcında sonsuz yoğunlukta bir nokta bulunacağını ve uzay-zamanın eğriliğinin sonsuz olacağını

göstermektedir. Bilincin tüm yasaları, böyle bir noktada işlemez duruma geleceklerdir. Tekilliklerde geçerli olacak yeni yaslar bulunabileceği varsayılabilir, ama böylesine kötü davranışlı noktalarda yasalar belirlemenin zorluğu bir yana gözlemlerden, bu yasaların ne olabileceğine ilişkin bir ipucu elde edemeyecektik. Bununla birlikte, tekillik teoremlerinin aslında işaret etikleri şey, kütlesel çekim alanının, kütlesel tanecik etkileri önem kazanacak denli şiddetli olacağıdır. Klasik kuram artık, evrenin iyi bir betimlemesi değildir. O halde evrenin ilk aşamalarını tartışırken, kütlesel çekimin tanecik kuramı kullanılmalıdır. Göreceğimiz gibi: tanecik kuramında, bilimin olağan yasalarının, zamanın başlangıcı da içinde olmak üzere, her yerde ve her zaman geçerli olması olanaklıdır. Tekillikler için yeni yasalar önermeye gerek yoktur, çünkü tanecik kuramında tekillik gerekmez.

Henüz tanecik mekaniğini ve kütlesel çekimi birleştiren tam ve tutarlı bir kuramımız yok. Ama böyle bir birleşik kuramda bazı özellikler bulunması gerektiğinden kesinlikle eminiz. Bunların ilki, tanecik kuramını, geçmişlerin toplamı cinsinden belirleyen Feynman'ın önerisini içermesidir. Bu yaklaşımda, bir parçacığın klasik kuramdaki gibi yalnızca tek bir parçacığın klasik kuramdaki gibi yalnızca tek bir geçmişi yoktur. Bunun üzerine, uzay-zamanda her olanaklı yolu izlediği varsayılır ve bu geçmişlerin her birine ilişkin iki sayı bulunur: biri dalganın büyüklüğünü, diğeri ise çevrimdeki konumunu (fazını) belirtir. Parçacığın, örneğin belli bir noktadan geçmesi olasılığı, o noktadan geçmesi olanaklı her geçmişe ilişkin dalgaları toplayarak hesaplanır. Ancak, bu toplama işlemini gerçekleştirmede, çok zor teknik sorunlarla karşılaşılır. Bunlardan kaçınmanın tek yolu garip reçetedir: Sizin, benim algıladığımz "gerçek" zamandaki değil, fakat sanal denilen zamandaki parçacık geçmişlerine ilişkin dalgalar toplanmalıdır. Sanal zaman, bir bilimkurgu terimi gibi geliyorsa da, aslında çok iyi tanımlanmış bir matematik kavramdır. Eğer sıradan (ya da "gerçek") bir sayıyı, kendisi ile çarparsak, sonuç pozitif bir sayıdır. (Örneğin; 2 kere 2, 4 eder; -2 kere -2 de 4 eder). Ancak, (sanal denen) özel sayılar vardır ki,

kendileri ile çarpılınca, negatif sayı verirler. (Kendisi ile çarpımı -1 veren sayıya i sayısı denir. 2i kendisi ile çarpılınca -4 verir.) Geçmişlerin Feynman toplamındaki teknik zorluklardan kaçınmak için, sanal zaman kullanılmalıdır. Yani, hesapları yaparken zaman, gerçek sayılar yerine sanal sayılarla ölçülmelidir. Bunun uzay-zaman üzerinde ilginç bir etkisi olur: uzay ve zaman arasındaki ayırım tümüyle ortadan kalkar. Olayların, zaman koordinatında sanal değerler taşıdığı uzay-zamana, iki boyutlu yüzeyler geometrisinin temelini atan eski Yunanlı Euclid (Öklid) anısına, Öklidil denir. Yalnız, şimdi Buclidgil dediğimiz uzay-zamanın iki yerine dört boyutu vardır. Euclidgil uzay-zamanda, yön ile uzaydaki yön arasında hiçbir ayrım yoktur. Öte yandan, olayların zaman koordinatında sıradan, gerçek değerlerle belirlendiği gerçek uzay-zamanda, aradaki ayrımı anlamak kolaydır -her noktadaki zaman doğrultuları, ışık konisinin içinde kalır, uzay doğrultuları ise dışında. Her neyse, gündelik tanecik mekaniği bağlamında, sanal zaman ve Euclidgil uzay-zaman, gerçek uzay-zamana ilişkin hesapları yapabilmek için kullandığımız yalnızca matematik bir araç (ya da hile) olarak düşünülebilir.

Yüce bir kuramın parçası olması gerektiğine inandığımız bir ikinci özellik ise, Einstein'in kütlesel çekim alanının, eğri uzay-zaman ile gösterilebileceği düşüncesidir: parçacıklar eğri bir uzayda, düze en yakın yolu izlemeye çalışırlar. Fakat uzay-zaman düz olmadığından, parçacıkların yolları, sanki bir çekim alanı etkisindeymişçesine bükülür. Feynman'ın geçmişlerin toplamı düşüncesini, Einstein'ın kütlesel çekim görüşüne uyguladığımızda, parçacığın geçmişinin benzeşi, tüm evrenin geçmişini temsil eden eğri uzay-zamanın tamamıdır. Geçmişlerin toplamını gerçekleştirirken karşımıza çıkan teknik zorluklardan kaçınmak için, bu eğri uzay-zamanlar, Euclidgil olarak ele alınmalıdır. Yani, zaman sanaldır ve uzaydaki doğrultulardan ayırt edilemez. Her noktada ve her yönde aynı görünmek gibi bir özellik taşıyan gerçek bir uzay-zamanı bulma olasılığını hesaplamak için, o özelliği taşıyan geçmişlerin tümüne ilişkin dalgalar toplanır.

Klasik genel görelik kuramında, her biri evrenin bir başka durumuna karşılık gelen, değişik, çok sayıda, olanaklı eğri uzay-zaman vardır. Evrenimizin ilk durumunu bilirsek, tüm geçmişini de bilmiş oluruz. Benzer biçimde, kütlesel çekimin tanecik kuramında, evren için değişik, çok sayıda, olanaklı tanecik durumları vardır. Yine, geçmişlerin toplamındaki Euclidgil eğri uzay-zamanların, evrenin ilk evrelerinde nasıl davrandığını bilirsek, evrenin tanecik durumunu da bilmiş oluruz.

Gerçek uzay-zamana dayalı klasik kütlesel çekim kuramında, evren yalnızca iki olanaklı biçimde davranabilir; ya ezelden beri vardır, ya da geçmişte, sonlu bir zaman önce bir tekillikte başlar. Öte yandan, çekimin tanecik kuramında bir üçüncü olasılık doğar. Zaman doğrultusunun, uzaydaki doğrultularla aynı temelde olduğu Euclidgil uzay-zamanlar kullanıldığından, uzay-zamanın, bir sınır ya da kenar oluşturan tekillikler içermeden, sonluluğu olanaklıdır. Uzay-zaman yerkürenin yüzeyi gibidir ama fazladan iki boyutu daha vardır. Yerkürenin yüzeyi sonlu büyüklüktedir ama bir sınırı ya da kenarı yoktur: günbatımına doğru yelken açsanız, yeryüzünün kenarından düşmezsiniz ya da bir tekillikle karşılaşmazsınız. (Böyle olduğunu biliyorum çünkü dünyayı dolaştım!)

Euclidgil uzay-zaman, sonsuz sanal zamana doğru uzanıyorsa, ya da sanal zamanda bir tekillikte başlıyorsa, klasik kuramdaki evrenin ilk durumunun saptanması sorunun aynasıyla karşılaşırız: evrenin nasıl başladığını Tanrı bilebilir ama biz şöyle ya da böyle başlamasına ilişkin belli bir neden bulamayız. Öte yandan, çekimin tanecik kuramı yeni bir ufuk açmıştır; uzayzamanın sınırı olmayabilir ve böylelikle sınırdaki davranışı bilmeye de gerek yoktur. Bilim yasalarının işlemediği tekillikler ve uzay-zamanın, sınır koşullarını saptamak için Tanrı'ya ya da bazı yeni yasalara başvurmanın gerekeceği bir kenarı olmayacaktır. Denilebilir ki: "Evrenin sınır koşulu, sınırı olmamasıdır." Evren, tamamıyla kendine yetecek ve kendi dışındaki hiçbir şeyden etkilenmeyecektir. Ne yaratılacak ne de yokedilecektir. Yalnızca OLACAKTIR.

Zaman ve uzayın birlikte, sonlu büyüklükte fakat bir sınırı ya

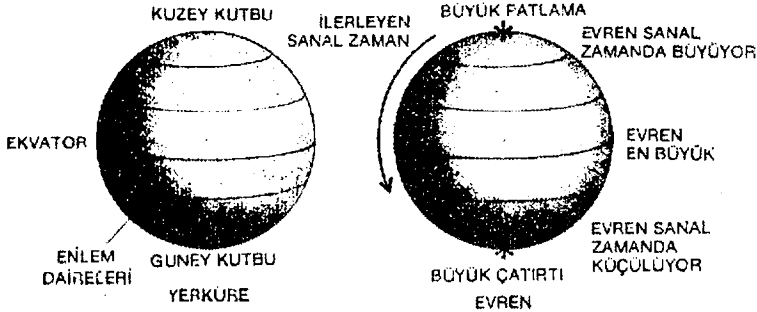
da kenarı olmayan bir yüzey oluşturabilecekleri önerisini ilk kez, daha önce sözünü ettiğim Vatikan'daki konferansta ileri sürdüm. Ancak makalemde oldukça matematik bir yaklaşım vardı, bundan dolayı evrenin yaratılışında. Tanrı'nın rolüne ilişkin önermelerimin o zaman pek farkına varan olmadı (neyseki). Konferansın olduğu sıralarda, "sınırın yokluğu" düşüncesini, evrene ilişkin öngörülerde bulunmak için nasıl kullanacağımı bilmiyordum. Ertesi yazı Santa Barbara'ra University of California'da geçirdim. Orada arkadaşım ve meslektaşım Jim Hartle (Hartıl), uzay-zamanın sınırı yoksa evrenin hangi koşulları sağlaması gerektiği üzerinde çalışmama yardım etti. Cambridge'e döndüğümde, bu çalışmayı araştırma öğrencilerimden Julian Luttrel (Latrıl) ve Jonathan Halliwell (Halivel) ile sürdürdüm.

Zaman ve uzayın sınırsız ve sonlu olduğu düşüncesinin yalnızca bir öneri olduğunu vurgulamak isterim: bu, bir başka ilkeden çıkarsanamaz. Herhangi bir başka bilimsel gibi, ilk önce estetik ya da fizikötesi nedenlerle ileri sürülebilir; ama gerçek sınav, gözlemlerle doğrulanan kestirimlerde bulunup bulunamayacağıdır. Ancak, tanecik çekimi durumunda, bunu belirlemek iki nedenden dolayı zor. Birincisi, gelecek bölümde anlatılacağı gibi, hangi kuramın genel göreliği ve tanecik mekaniğini başarıyla birleştireceğinden emin değiliz; böyle bir kuramın biçimine ilişkin pek çok şey biliyor olsak da. İkincisi, tüm evreni ayrıntılarıyla betimleyecek herhangi bir model, hesapla kesin öngörülerde bulunabilmek için matematik açıdan çok karmaşık olacaktır. O halde basitleştirici varsayımlar ve yaklaşıklıklarda bulunulması gerekecektir - o zaman bile, kestirimleri bulup çıkartmak sorunu kolay kolay çözümlemeyecektir.

Geçmişlerin toplamındaki her geçmiş, yalnızca uzay-zamanı değil, aynı zamanda içindeki herşeyi, insanlar gibi evrenin tarihini gözlemleyebilen karmaşık organizmaları da, betimleyecektir. Bu, insancı ilkeyi haklı çıkarmak için bir neden daha olarak görülebilir; çünkü eğer tüm geçmişler olanaklı ise, biz geçmişlerden birinin içinde bulunduğumuz sürece, insancı ilkeyi kullanarak evrenin ni-

çin olduğu gibi bulunduğunu açıklayabiliriz. İçinde bulunmadığımız diğer geçmişlere ise tam olarak ne anlam verilebiceği açık değildir. Ancak, çekimin tanecik kuramının bu yorumu, geçmişlerin toplamı kullanılarak evrenimizin, yalnızca olanaklı geçmişlerden biri değil de en olasılarından biri olduğunu gösterebilse, çok daha doyurucu olurdu. Bunun için, sınırı olmayan her olanaklı Euclidgil uzay-zaman için geçmişlerin toplamı işlemini gerçekleştirmemiz gerekir.

Sınırsızlık önerisinden gidilerek, evrenin, olanaklı geçmişlerin çoğunu izliyor durumda bulunması olasılığının önemsenmeyecek denli az olduğu ama olasılığı diğerlerinden çok daha fazla belli bir geçmiş ailesi olduğu öğreniliyor. Bu geçmişler, Kuzey Kutbundan uzaklık sanal zamanı ve Kuzey Kutbundan eşit uzaklıktaki noktaların çizdiği daire evrenin uzaydaki büyüklüğünü gösterecek biçimde, yerkürenin yüzeyine benzetilerek gözönüne getirilebilir. Şekil 8.1'deki gibi evren Kuzey Kutbunda bir nokta olarak başlar. Bura-



Şekil 8.1

dan güneye doğru inildikçe, enlem daireleri, sanal zamanda büyüyen evrene karşılık olmak üzere büyürler. Evren ekvatorda en üst büyüklüğe ulaşacak ve sanal zamanın daha da ilerlemesiyle küçülerek Güney Kutbunda tek bir nokta durumuna gelecektir. Evren Kuzey ve Güney Kutuplarında sıfır büyüklükte olmasına karşın, yer-

yüzündeki Kuzey ve Güney Kutuplarının tekil olmadıkları gibi, bu noktalarda tekillik olmayacaktır. Bilim yasaları yeryüzündeki Kuzey ve Güney Kutuplarında geçerli olduğu gibi geçerli olacaktır.

Ancak evrenin gerçek zamandaki tarihi çok değişik görünecektir. Yaklaşık on, yirmi milyar yıl önce evren en küçük durumdadır ve bu, sanal geçmişin en üst çapına eşittir. Daha sonraki gerçek zamanlarda evren Linde'nin karmakarışık şişen modelinde olduğu gibi genişleyecektir (bu kez evrenin her nasılsa doğru bir durumu da yaratılmış olduğunu varsaymak gerekmez). Evren en büyük durumuna ulaştıktan sonra çökerek gerçek zamanda tekillik gibi görünen durumuna dönecektir. Böylece, kara deliklerden uzakta dursak bile, bir anlamda hepimizin hali duman. Evrene ancak sanal zaman ile bakarsak tekillikler olmadığını görebiliriz.

Evren gerçekten böyle bir tanecik durumunda ise, sanal zamana göre evrenin geçmişinde tekillikler bulunmayacaktır. Şu halde son çalışmalarım, daha önce tekillikler üzerindeki çalışmalarımı tümüyle boşa çıkarmış gibi görünebilir. Ama yukarıda da işaret edildiği gibi tekillik teoremlerinin asıl önemi, kütlesel çekim alanının, tanecik etkileri gözardı edilemeyecek denli şiddetli olduğunu göstermesindedir. Bundan yola çıkılarak evrenin sanal zamanda sınırları ve tekil noktaları olmadan sonlu olabileceği düşüncesine varıldı. Ama içinde yaşadığımız gerçek zamana dönüldüğünde, tekillikler, yine kendini gösterecektir. Kara deliğe düşen zavallı astronot ıstırap içinde ölmekten kurtulamayacaktır, ancak sanal zamanda yaşasaydı tekillikle karşılaşmayacaktı.

Buradan, sanal dediğimiz zamanın aslında gerçek zaman olduğu ve gerçek zaman dediğimizin ise düşümüzün bir ürünü olduğu önerilebilir. Gerçek zamanda evren, uzay-zamanın sınırını oluşturan ve bilim yasalarının işlemediği tekilliklerde başlamakta ve son bulmaktadır. Fakat sanal zamanda tekillikler ve sınırlar bulunmamaktadır. Belki de o halde, sanal dediğimiz zaman aslında daha temeldir ve gerçek dediğimiz zaman ise evreni, olduğunu düşündüğümüz biçimiyle tanımlamamızı kolaylaştırmak için uydurduğumuz bir kavramdır. Ama birinci bölümde anlattığım yaklaşıma gö-

re, bilimsel bir kuram, yalnızca gözlemlerimizi betimleyebilmek için kurduğumuz matematik bir modeldir; salt kafamızda vardır. Bundan dolayı, "gerçek" zamanın mı yoksa "sanal" zamanın mı gerçek olduğu sorusunu sormanın anlamı yoktur. Önemli olan, hangisinin betimlemede yararlı olduğudur.

Geçmişlerin toplamı, sınırın olmaması ile birlikte kullanırak evrenin hangi özelliklerinin birlikte bulunmasının daha olası olduğu da bulunabilir. Örneğin, evrenin değişik yönlerde yaklaşık aynı hızda genişlemesi ile, evrenin yoğunluğunun şimdiki değerde olmasının, birlikte olasılığı hesaplanabilir. Şimdiye dek incelediğimiz basitleştirilmiş modeller için bu olasılık hesaplandığında çok yüksek çıkmaktadır; yani önerilen sınırsızlık koşulu, evrenin şimdiki genişleme hızının her yönde yaklaşık aynı olmasının son derece olası olduğunu öngörmektedir. Bu da, mikrodalga zemin ışımasını her yönde hemen hemen aynı şiddette ölçen gözlemlerle tutarlıdır. Evren bazı yönlerde diğerlerinden daha hızlı genişliyor olsaydı, bu yönlerde ışımanın şiddeti, fazladan kırmızıya kayma nedeniyle azalmış olurdu.

Sınırsızlık koşuluna dayalı başka öngörüler üzerinde çalışmalar sürmektedir. Özellikle ilginç bir problem, ilk evrelerdeki evrende yoğunluğun düzgün dağılımından, önce galaksilerin, sonra yıldızların, sonunda da bizim oluşumumuza neden olan küçük sapmaların niceliğinin hesaplanmasıdır. Belirsizlik ilkesi ilk evrelerdeki evrenin tümüyle düzgün olamayacağını, çünkü parçacıkların konumları ve hızlarında bazı belirsizlikler ya da düzensiz değişimler olması gerektiğini önerir. Sınırsızlık koşulunu kullanarak evrenin gerçekten de belirsizlik ilkesinin izin verdiği en az düzensizlik ile başladığını buluyoruz. Daha sonra evren şişen modellerdeki gibi bir hızlı genişleme aşamasından geçmiş olmalı. Bu dönemde, başlangıçtaki düzensizlikler bugün çevremizde gözlemlediğimiz yapıların kökenini açıklayabilecek biçimde kuvvetlenmiş olacaktır. Maddenin yoğunluğunun bir yerden ötekine biraz değişik olduğu genişleyen bu evrende kütlesel çekim daha yoğun bölgelerin genişlemesini yavaşlatıp büzülmelerini başlatacaktır. Bu, galaksile-

rin, yıldızların ve sonunda bizim gibi önemsiz yaratıkların bile oluşumuna yol açacaktır. Böylelikle evrende gördüğümüz tüm karmaşık yapılar, tanecik mekaniğinin belirsizlik ilkesi ile birlikte evrenin sınırsızlık koşulu tarafından açıklanabilir.

Uzay ve zamanın sınırsız, kapalı bir yüzey oluşturabileceği düşüncesinin, evrenin işleyişinde Tanrı'nın rolüne ilişkin etkisi bulunmaktadır. Bilimsel kuramların olayları açıklamaktaki başarısı sonucu, çoğu kişi Tanrı'nın evreni birtakım yasaları çiğnemediğine inanır olmuşlardır. Ama bu yasalar, evrenin başlangıcında nasıl olduğunu belirtmemektedirler -mekanizmayı kurmak ve nasıl başlayacağını seçmek, Tanrı'ya kalmıştır. Evrenin bir başlangıcı oldukça, bir yaratıcısı olduğunu varsayabiliriz. Ama evren gerçekten tümüyle kendine yeterli, sınırsız ve kenarsız ise, ne başı ne de sonu olacaktır: yalnızca olacaktır! O halde bir Yaradana ne gerek var?

9
ZAMANIN OKU

Bundan önceki bölümlerde zamanın doğasına ilişkin düşüncelerimizin yıllar boyunca nasıl değiştiğini gördük. Bu yüzyılın başına kadar insanlar mutlak zamanın varlığına inanıyorlardı. Yani, her olay "zaman" denen bir sayıyla tek bir şekilde numaralanabilmeli ve bütün doğru çalışan saatler iki olay arasındaki zaman aralığını aynı ölçmeliydi. Derken, ışık hızının nasıl hareket ederse etsin her gözlemciye göre aynı kaldığının keşfi görelik kuramına yol açtı, ve bu kurama göre tek bir mutlak zaman düşüncesi bir kenara bırakılmalıydı. Bunun yerine her gözlemcinin kendi yanında taşıdığı saate göre kaydettiği bir zaman ölçüsü olacaktı: değişik gözlemciler tarafından taşınan zamanı aynı ölçmeleri gerekmeyecekti, böylece zaman, onu ölçen gözlemciye bazlı kişisel bir kavram oldu.

Tanecik mekaniğini kütlesel çekim ile birleştirme çabalarında "sanal" zaman kavramına başvurulur. Sanal zaman uzaydaki yön kavramına benzer. Bir kişi kuzeye doğru gidiyorsa dönüp güneye doğru da yol alabilir, benzer biçimde birisi sanal zaman içinde ileriye doğru yol alıyorsa, dönüp geriye gidebileceğini de düşünebiliriz. Bu demektir ki, sanal zaman içinde ileri ve geri yönler arasında önemli bir ayırım yoktur. Öte yandan "gerçek" zamana baktığımızda, hepimizin bildiği gibi ileri ve geri yönler arasında büyük fark vardır. Geçmiş ve gelecek arasındaki bu fark nereden ge-

liyor? Neden, geleceği değil de geçmişi anımsıyoruz?

Bilimin yasaları gelecekle geçmiş arasında bir ayrım yapmaz. Daha kesin bir deyişle, daha önce açıklandığı gibi, bilimin yasaları C.P.T olarak bilinen işlemlerin (bakışımların) değişik birliktelikleri sonucu değişmez kalır. (C, parçacıkları karşıparçacıklarla değiştirmek anlamına gelir. P aynadaki görüntüsünü almak, böylece sağ ile solun yerini değiştirmek demektir. T ise bütün parçacıkların devinim yönünü değiştirmek yani devinimi geriye doğru götürmektir.) Normal koşullar altında, maddenin davranışını yöneten bilim yasaları C ve P işlemleri sonucu değişmez kalır. Başka bir deyişle, başka bir gezegende yaşayan, hem bizim aynadaki görüntümüz biçiminde ve hem de madde yerine karşımaddeden yapılmış varlıklar için yaşam aynı bizimki gibi olurdu.

Eğer bilimin yasaları, C ve P işlemlerinin birlikteliği sonucu ve C.P. ve T. işlemleri birlikteliği sonucu değişmiyorsa, tek başına T işlemi sonucu da değişmemelidir. Ama biliyoruz ki her günkü yaşamda gerçek zamanın ileriye ve geriye doğru yönleri arasında büyük fark vardır. Masadan yere düşüp tuz buz olan içi su dolu bir bardak düşünün. Bunu filme çekerseniz, filmin ileri mi, yoksa geri mi oynatıldığını kolayca söyleyebilirsiniz. Filmi geri oynatacak olursanız parçaların aniden bir araya gelip bardağı oluşturmak üzere masanın üstüne geri zıpladığı görülecektir. Günlük yaşamımızda bu tür bir davranışla hiçbir zaman karşılaşılamadığı için filmin geri oynatıldığını hemen söyleyebilirsiniz. Eğer bu, gerçek yaşamda doğru olsaydı, çanak çömlek yapanlar işsiz kalırdı

Kırık cam parçacıklarının biraraya gelip niye masanın üstüne geri zıplamadığının açıklanması genellikle, bunun, termodinamiğin ikinci yasası tarafından yasaklanmış olması ile yapılır. Bu, herhangi bir kapalı dizgede düzensizliğin, yani entropinin, her zaman arttığını söyler. Başka bir deyişle, işler her zaman istemediğimiz gibi sonuçlanma eğilimindedir. Masanın üzerinde duran bardak bir yüksek düzen durumudur, ancak yerdeki kırılmış bir bardak ise düzensizlik durumudur. Geçmişteki masanın üstündeki bardaktan, gelecekteki yerdeki kırılmış bardağa kolayca gidilebilir ama tersi

doğru değildir.

Düzensizliğin ya da entropinin zamanla artması, zamanın oku denen ve zamanın yönünü belirterek gelecek ile geçmişi ayıran kavramın bir örneğidir. Zamanın en az üç değişik oku vardır. Birincisi, düzensizliğin ya da entropinin arttığı, zamanın ternodinamik okudur. Bundan sonra zamanın psikolojik oku gelir. Bu, zamanın geçtiğini hissettiğimiz, geleceği değil de geçmişi anımsadığımız yöndür. Zamanın son oku ise evrenbilimsel oktur. Bu da, evrenin büzülmeyip, genişlediği zaman yönüdür.

Bu bölümde, evrenin sınırsızlık koşulunun, zayıf insancı ilke ile birlikte, üç okun da niye aynı yönü gösterdiğini, -dahası, zamanın niye kesin tanımlı bir oku olması gerektiğini açıklayabileceğini ileri süreceğim. Psikolojik okun termodinamik ok tarafından belirlendiğini, ve bu iki okun her zaman zorunlu olarak aynı yönü göstermeleri gerektiği savında bulunacağım. Evrenin sınırsız olduğu varsayılırsa, zamanın çok iyi tanımlı termodinamik ve evrenbilimsel oklarının olacağını, ama bu okların evrenin bütün geçmişi boyunca aynı yönü göstermeyeceklerini göreceğiz. Bununla birlikte, ileri süreceğim ki, bu oklar ancak aynı yönü gösterdikleri zaman şu soruyu sorabilecek akıllı varlıkların ortaya çıkmasına elverişli koşullar vardır. Düzensizlik niye evrenin genişlediği zamanla aynı yönde artıyor?

Önce zamanın termodinamik okundan başlayacağım. Termodinamiğin ikinci yasasının temelinde düzensiz durumların, düzenli durumlardan her zaman çok daha fazla olması gerçeği yatar. Örneğin bir kutudaki "yap boz" bulmaca parçalarını düşünün. Parçaları tam bir tablo yapan yalnız ve yalnız bir tane düzenleme vardır. Öte yandan parçaların düzensiz olduğu ve bir tablo oluşturmadığı çok daha büyük sayıda durum bulunmaktadır.

Bir dizgenin küçük sayıda düzenli durumdan başladığını düşünelim. Zaman ilerledikçe dizge, bilimin yasalarına uygun evreler geçirecek ve durumu değişecektir. Daha sonraki bir zamanda, dizgenin düzensiz bir durumda olma olasılığı, düzenli bir durumda olma olasılığından daha yüksek olacaktır çünkü düzensiz durumların

sayısı düzenli durumların sayısından daha fazladır. Şu halde, dizge ilk koşul olarak yüksek dereceli bir düzene sahipse, düzensizlik zamanla artma eğilimi gösterecektir.

Bir yap boz bulmacasında, parçaların kutunun içinde ilk başta bir tablo oluşturacak şekilde dizildiklerini varsayalım. Kutuyu sallarsanız, parçalar başka bir şekilde dizileceklerdir. Bunun, parçaların anlamlı bir tablo ortaya çıkarmadığı düzensiz bir durum olma olasılığı, çok daha fazla sayıda düzensiz diziliş olduğu için doğal olarak daha yüksektir. Bazı parçacık grupları belki de hâlâ tablonun bir bölümünü oluşturuyordur ama kutuyu daha çok salladıkça bu parçaların hiçbir tablo oluşturmadıkları karmakarışık bir durumun olasılığı artacaktır. Böylece parçaların düzensizliği, parçalar ilk başta yüksek düzenli bir durumdalarsa, zamanla artma eğilimi gösterecektir.

Şimdi Tanrı'nın evreni yüksek düzenli bir durumda sonlandırmaya karar verdiğini ve evrenin hangi durumda başladığının hiç önemi olmadığını varsayalım. Bu durumda evren ilk zamanlarda, herhalde düzensiz bir durumda olacaktı. Yani düzensizliğin zamanla azalması gerekecekti. Kırık bardak parçacıklarının biraraya toplanıp masanın üstüne zıpladıklarını görmemiz gibi. Yalnız, bu bardakları gözlemleyen herhangi bir insanoğlu düzensizliğin zamanla azaldığı bir evrende yaşıyor olacaktı. İleri süreceğim ki, bu tür varlıklar geriyi gösteren zaman okuna sahip olmalıydılar. Yani, geçmişteki olayları değil de, gelecekteki olayları anımsayacaklardı. Bardak kırıkken onun masanın üstündeki durumunu anımsayacak ama masanın üstünde iken döşemede olduğunu anımsamayacaklardı.

İnsan belleğinin nasıl çalıştığını ayrıntılarıyla bilmediğimiz için ona ilişkin söz açmak oldukça zordur. Bilgisayarların belleğinin nasıl çalıştığını ise gayet iyi biliyoruz. Bu yüzden zamanın psikolojik okunu bilgisayarlar bağlamında anlatacağım. Sanırım, bu okun insanlar için de aynı olacağını varsaymak yanlış olmaz. Eğer değişik olsaydı, borsada ertesi günün hisse senedi değerlerini anımsayan bir bilgisayar ile esaslı bir vurgun vurmak işten bile ol-

mazdı!

Bilgisayar belleği iki değişik durumdan herhangi birini alabilen öğelerden oluşmuş bir aygıttır. Abak, ya da hesap tahtası, bunun basit bir örneğidir. Abak, en basit biçimiyle, belli sayıda telden yapılmış olup, her tele iki konumdan birine getirilebilen bir boncuk geçirilmiştir. Bilgisayarın belleğine herhangi bir bilgi yazılmadan önce bellek, her iki konumdan birinde eşit olasılıkla bulunmak üzere, düzensiz durumdadır. (Abağın boncukları teller üzerinde gelişigüzel dağılmışlardır.) Bellek, anımsanılması gereken dizgeyle etkileşimde bulunduktan sonra, dizgenin durumuna göre kesin olarak şu ya da bu durumu alacaktır. (Her abak boncuğu telin ya sağında ya da solunda olacaktır.) Böylece bellek düzensiz durumdan düzenli bir duruma geçmiştir. Belleğin doğru durumu almasını sağlamak için belli bir miktar enerji kullanmak zorunludur (boncuğu sağa sola oynatmak ya da bilgisayarı elektrik şebekesine bağlamak gibi). Bu enerji ısı olarak tüketilir ve evrendeki düzensizliğin miktarını arttırır. Gösterilebilir ki, evrenin düzensizliğindeki bu artış, belleğin kendi düzeninin artışından fazladır. Şu halde bilgisayarın soğutucusunun uzaklaştırdığı ısı, bilgisayar belleğe herhangi bir şey kaydettiği zaman, evrenin toplam düzensizliğinin yükselmesi anlamına gelir. Belleğin geçmişi anımsamadığı zaman yönü düzensizliğin arttığı zaman yönü ile aynıdır.

Şu halde, zaman yönünü nesnel kavrayışımız, yani zamanın psikolojik oku, beynimizin içinde, zamanın termodinamik oku tarafından belirlenmektedir. Olayları, aynı bir bilgisayar gibi, düzensizliğin arttığı yönde anımsamalıyız. Bu, termodinamiğin ikinci yasasını son derece basite indirger. Düzensizlik zamanla artar, çünkü zamanı düzensizliğin arttığı yönde ölçeriz. Kazanmanızın bundan daha emin olacağı bir bahse giremezsiniz!

Ama termodinamik okun varolması hangi nedenle gerekmektedir? Ya da, başka bir deyişle, evrenin zamanın bir ucunda, geçmiş dediğimiz ucunda, neden yüksek dereceden bir düzen durumunda olması gerekmektedir? Niye her zaman tamamen düzensiz bir durumda değildir? Üstelik bu daha olası bir durum gibi gözükmesine

rağmen. Ve düzensizliğin arttığı zamanın yönü neden evrenin genişlediği zaman yönü ile aynıdır?

Klasik genel görelik kuramında evrenin nasıl başladığı, bilimin bilinen bütün yasaları büyük patlama tekilliğinde işlemez oldukları için kestirilemez. Evren son derece düzgün ve düzenli bir durumdan yola çıkmış olabilir. Bu, gözlemlediğimiz gibi, zamanın çok iyi tanımlı termodinamik ve evrenbilimsel oklarını doğurmuş olabilir. Öte yandan son derece karmakarışık ve düzensiz bir durumla da başlamış olabilirdi. Evren, o zaman zaten tamamen düzensiz bir durumda olacağı için, düzensizlik zamanla artmazdı. Ya zamanın kesin tanımlı termodinamik okunun olmadığı bir durumda değişmez kalırdı, ya da termodinamik okun, evrenbilimsel okun ters yönünü gösterdiği bir durumda azalırdı. Bu olasılıkların hiçbiri gözlemlerimizle uyuşmuyor. Bununla birlikte, gördüğümüz gibi, klasik genel görelik kuramı kendi yıkılışını önceden bildirmektedir. Uzay-zamanın eğriliği büyük olduğu zaman tanecik çekim etkileri önem kazanacak ve klasik kuram artık evrenin iyi bir betimi olma özelliğini yitirecektir. Evrenin nasıl başladığının anlaşılması için çekimin tanecik kuramı kullanılmalıdır.

Son bölümden gördüğümüz gibi, evrenin konumunu belirleyebilmek için, evrenin olası geçmişlerinin uzay-zaman sınırında nasıl davrandığının bilinmesi, çekimin tanecik kuramında hâlâ gerekmektedir. Bilmediğimiz ve bilemeyeceğimiz böyle bir şeyi betimleme zorluğundan, geçmişlerin ancak sınırsızlık koşuluna uymalarıyla kurtulabiliriz uzantı olarak sonludurlar ama sınırları, kenarları ve tekillikleri yoktur. Bu durumda, zamanın başlangıcı uzay-zamanda düzenli ve düzgün bir nokta olacak ve evren genişlemesine çok düzgün ve düzenli bir durumdan başlayacaktır. Tamamen düzgün olması, tanecik kuramının belirsizlik ilkesine karşı geldiği için düşünülemez. Yoğunlukta ve parçacıkların hızlarında bazı ufak dalgalanmaların olması kaçınılmazdır. Sınırsızlık koşulu bu dalgalanmaların belirsizlik ilkesiyle uyumu ve olabildiklerince küçük olduklarını üstü kapalı bir biçimde söylemektedir.

Evren yapısını büyük ölçüde büyüten üstel ya da "şişen" bir ge-

nişleme dönemi ile başlamış olmalıdır. Bu genişleme sırasında yoğunluk dalgalanmaları ilk başta küçük iken sonradan büyümeye başlamıştır. Yoğunluğun ortalamadan çok olduğu bölgelerin genişlemesi fazladan kütlenin çekimiyle yavaşlamış olabilir. Sonuç olarak, bu bölgeler genişlemelerini durdurarak, galaksileri, yıldızları ve bizim gibi varlıkları oluşturmak üzere büzülmeye başlamıştır. Evren düzgün ve düzenli bir durumla başlayarak, zaman geçtikçe öbeklenmiş ve düzensiz olmuştur. Bu, zamanın termodinamik okunun varlığını açıklar.

Peki ya, evren genişlemeyi durdurup büzülmeye başlarsa ne olur? Termodinamik ok yön değiştirip, düzensizlik zamanla azalma dönemine girer mi? Bu, genişleme evresinden büzülme evresine geçişte canlı kalan bütün insanlar için her türlü bilimkurgu olanaklarına yol açabilir. Acaba onlar kırık bardak parçacıklarının biraraya gelip yerden masaya geri zıpladıklarını görürler miydi? Yarının fiyatlarını anımsayarak borsadan köşeyi dönerler miydi? Evren tekrar büzülmeye başladığı zaman ne olacağından endişe duymak, bu iş on milyar yıl önceden olmayacağı için biraz akademik kaçabilir. Ama bu durumda ne olacağını anlamanın kolay bir yolu vardır, bir kara delikten içeri atlayıverin. Bir yıldızın kara delik oluşturmak üzere çöküşü, evrenin tümünün son büzülme evrelerine benzer. Eğer evrenin büzülme evresinde düzensizlik azalacaksa, kara deliğin içinde de azalması beklenebilir. Belki böylece, kara deliğe düşen bir astronot, rulet masasında bilyenin nerede duracağını bahsini yatırmadan önce anımsayarak çok para kazanabilecektir. (Ama, ne yazık ki, makarna gibi uzamadan önce, oynayacak çok vakti olmayacaktır. Ayrıca, kara deliğin olay ufkunun gerisinde kıstırılmış kalacağı için, termodinamik okun yön değiştirmesine ilişkin bir bilgi iletemeyeceği gibi kazandıklarını bankaya bile yatıramayacaktır.)

İlk önceleri, evren çökmeye başladığı zaman düzensizliğin azalacağına inanıyordum. Çünkü evrenin yeniden küçüldüğü zaman düzgün ve düzenli duruma dönmesi gerektiğini düşünüyordum. Bu büzülme evresinin, genişleme evresinin zaman içinde tersi gibi gö-

rünmesi anlamına gelmekteydi. Büzülme evresindeki insanlar yaşamlarını geriye doğru yaşamalıydılar: Doğmadan önce ölmeleri ve evren büzüldükçe gençleşmeleri gerekmekteydi.

Bu düşünce, genişleyen ve büzülen evreler arasında hoş bir bakışım yarattığı için çekici gelebilir. Bununla birlikte, evrene ilişkin diğer bütün düşünceleri bir yana iterek yalnızca bunu benimsemek doğru olamaz. O zaman şu soru akla gelir. Acaba bu, sınırsızlık koşulu kestirilebiliyor mu, yoksa bu koşulla uyuşması söz konusu değil mi? Dediğim gibi, ilk önceleri sınırsızlık koşulunun büzülme evresinde düzensizliğin azalması gerektiğini öngördüğünü sanıyordum gerçekten. Birazcık, dünyanın yüzeyiyle kurduğum benzetmeden dolayı yanılgıya düştüm. Eğer evrenin başlangıcının Kuzey Kutbuna karşı geldiğini düşünürsek, evrenin sonunun da, nasıl Güney Kutbu, Kuzey Kutbuna benziyorsa, başlangıcına benzemesi gerekirdi. Ama, Kuzey ve Güney Kutupları sanal zaman içinde evrenin başlangıcına ve sonuna karşı gelmektedir. Gerçek zaman içinde başlangıç ve son, birbirinden çok değişik olabilir. Ayrıca, daha önce yapmış olduğum, büzülme evresinin genişleme evresinin zaman içinde tersi gibi göründüğü basit bir evren modeli üzerindeki çalışma tarafından da yanlış yola sokuldum. Neyse ki, Penn State Üniversitesi'nden Don Page (Peyc) adlı bir meslekdaşım, sınırsızlık koşulunun, büzülme evresinin zorunlu olarak genişleme evresinin zaman içinde tersi gibi olmasını gerektirmediğini gösterdi. Ayrıca, öğrencilerimden biri olan Raymond Laflamme (Laflam), biraz daha karmaşık bir modelde evrenin büzülmesinin genişlemesinden çok daha değişik olacağını buldu. Bir yanlış yaptığımı anlamıştım: sınırsızlık koşulu aslında, düzensizliğin büzülme evresinde de artmayı sürdüreceğini söylemekteydi. Evren küçülmeye başladığı zaman, ya da kara deliklerin içinde, zamanın termodinamik ve psikolojik okları yönlerini değiştirmeyecekti.

Böyle bir yanlış yaptığınızı bulduğunuz zaman ne yapmanız gerekir? Bazı kişiler yanlışlarını hiç kabullenmeden savlarına destek sağlamak için, yeni ve çoğu kez birbirleriyle uyuşmayan öneriler ortaya atmayı sürdürürler. Eddington'ın kara delikler kuramına

karşı gibi. Bazıları ise doğru olmayan görüşü daha baştan desteklemediklerini, ya da öyle yapmış olsalar bile bunu o görüşün ne kadar yanlış olduğunu göstermek için yaptıklarını ileri sürerler. Oysa bana öyle geliyor ki yanlış yaptığınızı bir yazıyla kabul etmek çok daha güzel ve açıktır. Bunun güzel bir örneği, evrenin statik modelini kurmaya çalışırken ortaya attığı evrenbilimsel sabitin, yaşamının en büyük hatası olduğunu söyleyen Einstein'dir.

Zamanın okuna dönecek olursak, şu soru yerinde durmaktadır. Neden termodinamik ve evrenbilimsel okların aynı yönü gösterdiklerini gözlemliyoruz? Ya da başka bir deyişle, düzensizlk niye evrenin genişlediği zamanla aynı yönde artmaktadır? Eğer evrenin genişleyip, sınırsızlık önerisinin söylediği gibi büzüleceğine inanıyorsak, bu soru, neden büzülme evresi yerine genişleme evresinde ortaya çıktık biçimine dönüşür.

Bu soruya insancı ilkeye dayanarak yanıt vermek olanaklıdır. Büzülme evresindeki koşullar, "Düzensizlik niye evrenin genişlediği zamanla aynı yönde artmaktadır?" biçiminde bir soruyu sorma yetisine sahip akıllı varlıkların ortaya çıkmasına elverecek uygunlukta olmayacaktır. Sınırsızlık önerisinin öne sürdüğü evrenin ilk evrelerindeki şişme, evrenin yeniden çökmesine ancak engel olacak kritik hıza yakın bir hızla genişlediği, böylece uzun bir süre büzülmeyeceği anlamına gelmektedir. Artık o zaman tüm yıldızlar yakıtlarını tüketmiş olacak ve içlerindeki proton ve nötronlar muhtemelen hafif parçacıklara ve ışımaya dönüşmüş olacaktır. Evren neredeyse tam bir düzensiz durum alacaktır. Artık, kuvvetli bir termodinamik ok da kalmayacaktır. Bu durumda artık düzensizlik artamayacak, çünkü evren zaten neredeyse tam bir düzensizlik içinde olacaktır. Öte yandan, akıllı bir yaşamın ortaya çıkabilmesi için zamanın kuvvetli termodinamik oku zorunludur. Yaşamlarını sürdürebilmek için insanlar, düzenli enerji biçimindeki yiyeceği tüketip, bunu düzensiz enerji biçimindeki ısıya dönüştürmelidir. Şu halde akıllı yaşam evrenin büzülme evresinde ortaya çıkamaz. Termodinamik ve evrenbilimsel okların niye aynı yönü gösterdiklerinin nedeni budur, yoksa evrenin genişlemesinin düzensizliğin art-

masına neden olması değil. Düzensizliğin artmasına ve akıllı yaşama uygun koşulların ancak evrenin genişleyen evresinde ortaya çıkmasına neden olan, sınırsızlık koşuludur.

Özetlersek, bilimin yasaları zamanın ileriye ve geriye yönleri arasında bir ayrım yapmaz. Bununla birlikte zamanın, geçmişi gelecekten ayıran en az üç oku vardır. Bunlar, düzensizliğin arttığı zaman yönünü gösteren termodinamik ok, geleceği değil de geçmişi anımsadığımız zamanın yönünü gösteren psikolojik ok ve evrenin büzülme yerine genişlediğini gösteren evrenbilimsel oktur. Psikolojik okun temelde termodinamik okla aynı olduğunu böylece ikisinin her zaman aynı yöne bakacaklarını az önce gösterdim. Evrenin sınırsızlık önerisi, evren düzgün ve düzenli bir durumdan yola çıkmak zorunda olduğu için iyi tanımlı bir termodinamik okun varlığını öngörür. Ve bu termodinamik oku, evrenbilimsel okla aynı yönde gözlemlememizin nedeni, akıllı varlıkların evrenin ancak genişleyen evresinde ortaya çıkabilmeleridir. Büzülme evresi, zamanın kuvvetli bir termodinamik okuna sahip olamayacağı için buna elvermez.

İnsan soyunun evreni kavramdaki aşamaları, düzensizliğin sürekli arttığı evrende küçük bir düzen köşesi kurmuştur. Bu kitaptaki her sözcüğü anımsıyorsanız, belleğiniz yaklaşık iki milyon parça bilgi depolamış demektir. Evrendeki düzen de, iki milyon birim artmış olacaktır. Öte yandan, bu kitabı okurken, yiyecek biçimindeki en azından bin kalorilik düzenli enerjiyi, çevrenizdeki havaya ter ve dolaşım akımları ile verdiğiniz ısı biçimindeki düzensiz enerjiye dönüştürmüş olacaksınız. Bu, evrendeki düzensizliği yaklaşık yirmi milyon kere milyon kere milyon kere milyon birim -ya da yaklaşık beyninizde oluşan düzenden on milyon kere milyon kere milyon kere daha fazla- artıracaktır, bu da ancak kitapta anlatılan her şeyi anımsıyorsanız. Bundan sonraki bölümde, insanların, anlattığım kısmi kuramları, evrendeki her şeyi kapsayacak olan tam birleşik kuramı oluşturmak üzere nasıl bir araya getirmeye çalıştıklarını açıklayarak köşemizdeki düzeni bir miktar daha artırmayı deneyeceğim.

10
FİZİĞİN BİRLEŞTİRİLMESİ

Birinci bölümde anlatıldığı gibi, evrendeki her şeye ilişkin tam bir birleşik kuramı, bir oturuşta ortaya koymak çok zor olacaktır. Biz de bunun yerine, sınırlı kapsamda olguları betimlerken başka etkenleri ya yok sayan ya da onlara belli sayılarda yaklaşımda bulunan kısmi kuramlar bularak ilerleme kaydettik. (Örneğin kimya, atomun çekirdeğinin iç yapısını bilmeden atomların etkileşimlerini hesaplamamıza olanak sağlar.) Ancak eninde sonunda, bu kısmi kuramların tümünü yaklaşıklıklar olarak içeren ve gerçekten uygunluğunun, birtakım keyfi sayılara değerler konularak sağlanması gerekmeyen, tutarlı, tam bir birleşik kuramın bulunması umulmakta. İşte böyle bir kuramın aranışına "fiziğin birleştirilmesi" diyoruz. Einstein son yıllarında zamanının çoğunu, birleşik bir kuramı başarısızca aramakla geçirdi, ama zamanı gelmemişti daha; kütlesel ve elektromanyetik kuvvetler için kısmi kuramlar vardı ama çekirdek kuvvetlerine ilişkin çok az şey biliniyordu. Üstelik Einstein, gelişiminde önemli payı bulunmasına karşın, tanecik mekaniği gerçeğine inanmayı reddetmişti. Oysa öyle görünüyor ki, belirsizlik ilkesi, içinde yaşadığımız evrenin temel bir özelliği. O halde başarılı bir birleşik kuram, bu ilkeyi mutlaka içermeli.

Anlatacağım üzere, böyle bir kuramı bulmamızın olasılığı şimdi çok daha fazla, çünkü evrene ilişkin çok daha fazla şey biliyo-

ruz. Ancak, kendimize aşırı güvenmek tehlikesinden sakınmalıyız, nice aldatıcı şafaklar gördük. Örneğin bu yüzyılın başlarında her şeyin, sürekli bir maddenin esneklik ve ısı iletimi gibi özellikleriyle açıklanabileceği sanılıyordu. Atomsal yapının ve belirsizlik ilkesinin bulunuşu, buna kesin bir biçimde son verdi. Sonra 1928'de, bu kez fizikçi ve Nobel ödülü sahibi Max Born (Born), Gottingen Üniversitesi'nde bir grup ziyaretçiye şöyle diyordu: "Bildiğimiz biçimiyle fizik, altı ayda bitmiş olacaktır." Born'un kendine bu denli güveni, o sırada Dirac tarafından elektronun devinimini belirleyen denklemin bulunuşuna dayanıyordu. O zamanlar bilinen öteki parçacık olan protonu da belirleyen benzeri bir denklemin bulunmasıyla kuramsal fiziğin sonunun geleceği sanılıyordu. Ama nötronun ve çekirdek kuvvetlerinin bulunuşu, bu düşüncenin de kafasına balyozu indirdi. Böyle söylemekle birlikte, ben yine de, doğanın yüce yasalarını arayışın sonuna yaklaşmış olabileceğimize ilişkin sakıngan bir iyimserlik için nedenler bulunduğuna inanıyorum.

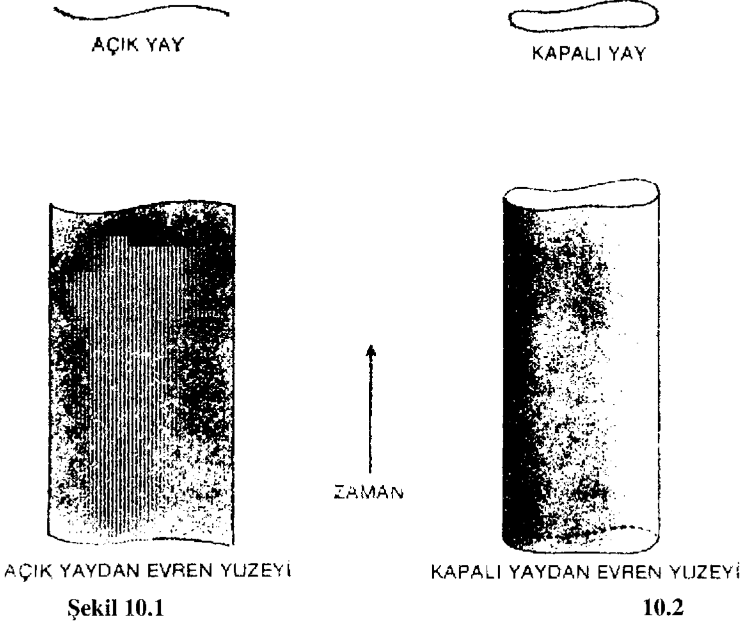
Önceki bölümlerde genel göreliği, kütlesel çekimin kısmi kuramını ve zayıf, güçlü ve elektromanyetik kuvvetleri belirleyen kısmi kuramları anlattım. Son üçü, kütlesel çekimi içermedikleri ve değişik parçacıkların bağıl kütleleri gibi kuramdan çıkarılamayıp, gözlemlere uyacak biçimde seçilmesi gereken birtakım nicelikleri içinde bulundukları için yetersiz kalan "büyük birleşik kuramlar" ya da BBK'larda birleştirilebilirler. Kütlesel çekimi öteki kuvvetlerle birleştiren bir kuram bulmanın ana zorluğu, genel göreliğin "klasik" yani tanecik mekaniğini içermeyen bir kuram oluşudur. Öte yandan, öteki kısmi kuramlar tanecik mekaniğine temelden bağlıdırlar. Şu halde atılması gereken ilk adım genel göreliğin belirsizlik ilkesiyle bir araya getirilmesi olmalıdır. Daha önce gördüğümüz gibi bu, kara deliklerin aslında kara olmadığı ve evrenin tekilliksiz, tümüyle kendine yeterli ve sınırsız olduğu gibi olağanüstü sonuçlara vardırabilir bizi. Buradaki sonun, yedinci bölümde açıklandığı üzere belirsizlik ilkesinin "boş" uzayın bile sezilgen parçacık ve karşı parçacıklarla dolu olduğu anlamına gelmesidir.

Bu, çiftlerin sonsuz enerjisi olacak ve bundan dolayı Einstein'in ünlü $E=mc^2$ denklemine göre sonsuz miktarda kütleleri olacaktı. Böylece, kütlesel çekimleri evreni sonsuz küçüklüğe bükecekti.

Öteki kısmi kuramlarda benzer ve görünürde saçma sonsuzluklar bulunur ama bu durumların hepsinde de sonsuzluklar, yeniden normalleştirme denilen bir işlemle giderilirler. Bu işlem sonsuzlukların başka sonsuzluklar aracılığıyla yokedilmesini gerektirir. Bu her ne kadar matematik açıdan oldukça şüphe götürür bir yöntem ise de uygulamada gayet güzel işlemekte ve bu kuramlar çerçevesinde kullanıldığında gözlemlerle olağanüstü bir doğrulukta uyuşan hesaplar yapılabilmektedir. Ancak yeniden normalleştirmenin tam bir kuram bulma çabası açısından önemli bir sakıncası vardır, çünkü bu durumda kütlelerin gerçek değerlerini ve kuvvetlerin gerçek şiddetini kuramdan yola çıkarak hesaplamak olanağı kalmaz, ancak gözlemlere uyacak biçimde seçilebilirler.

Belirsizlik ilkesini genel görelikle biraraya getirme girişminde değeriyle oynayabilecek iki nicelik vardır: kütleslel çekimin şiddeti ve evrenbilimsel sabitin değeri. Ama bunlarla oynamak sonsuzlukların tümünü gidermeye yetmez. Şu halde elimizde uzay-zamanın eğriliği gibi birtakım niceliklerin gerçekten sonlu olduğunu kestirebilecek bir kuram var, ama bu niceliklerin mükemmel sonlu olduklarını zaten gözlemleyebiliyor ve ölçebiliyoruz! Genel göreliği ve belirsizlik ilkesini biraraya getirmede sorun çıkacağı bir süredir bilinmekteydi ama sonunda 1972'de yapılan ayrıntılı hesaplar bu sorunu doğruladı. Dört yıl sonra da "süperçekim" denilen bir çözüm olabileceği önerildi. Buradaki düşünce, kütlesel çekim kuvvetini taşıyan ve graviton denen 2-dönemli bir parçacık ile 3/2, 1, 1/2 ve 0-dönmeli öbür parçacıkları getirmekti. Bir anlamda tüm bu parçacıklar aynı "süperparçacığın" değişik görüntüleri olarak ele alınabilirdi. Böylece 1/2 ve 3/2- dönmeli madde parçacıkları ile 0,1 ve 2-dönmeli kuvvet taşıyan parçacıkları birleştirilmiş oluyordu. 1/2 ve 3/2-dönmeli sezilgen parçacık/karşıparçacık çiftlerinin eksi enerjileri, 2, 1 ve 0-dönmeli sezilgen çiftlerin artı enerjilerini yok etme eğiliminde olacaktı. Bu, ortaya çıkabilecek sonsuzlukla-

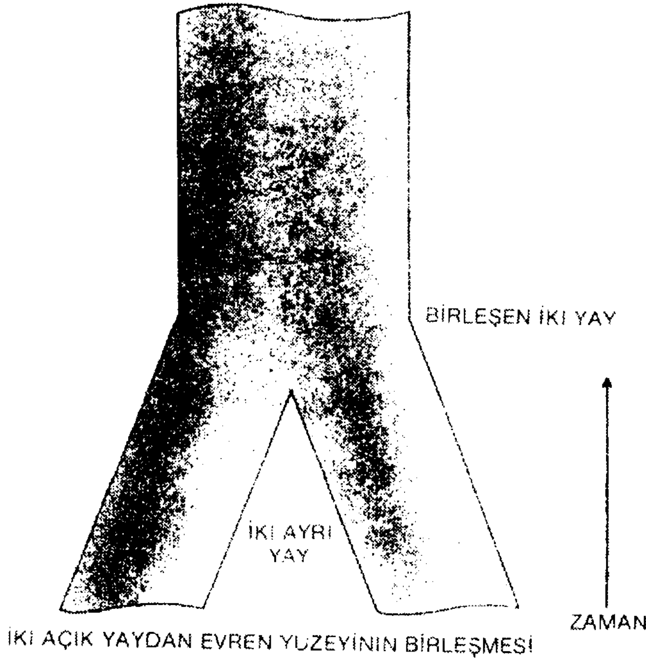
rın çoğunun giderilmesine neden olacaktı, ama yine de bazı sonsuzlukların kalacağından kuşku duyuluyordu. Ancak giderilmedik sonsuzlukların kalıp kalmadığını gösterecek hesaplar öyle uzun ve zordu ki, kimse böyle bir işe kalkışmadı. Bilgisayar kullanılsa bile bunun en az dört yıl alacağı ve bu arada birden çok hata yapma olasılığının çok yüksek olduğu düşünülüyordu. Yanıtın doğruluğundan ancak bir başkasının aynı hesabı yapıp aynı sonucu bulmasıyla emin olunabilinir ki, bu pek olası görünmüyordu!



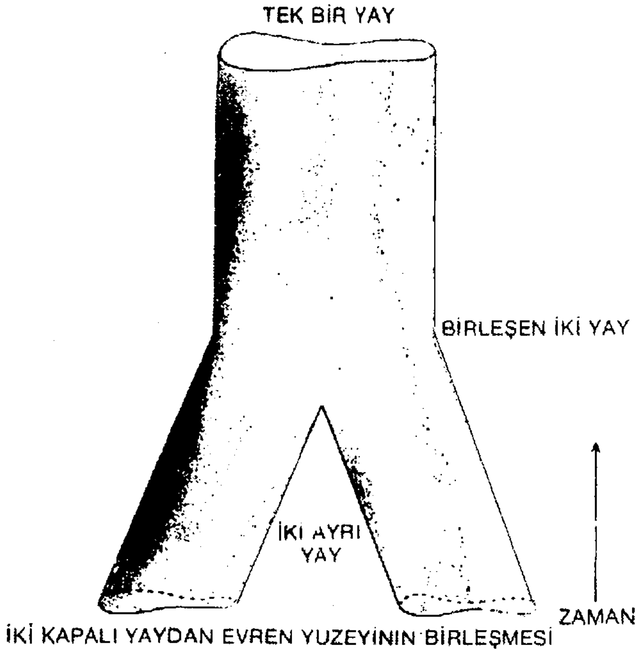
Şekil 10.1 **10.2**

Bu sorunlara ve süperçekim kuramlarındaki parçacıkların gözlenen parçacıklara uymadığı gerçeğine karşın, çoğu bilimci, süperçekimin, fiziğin birleştirilmesi sorununun doğru çözümü olduğuna inanıyordu. Bu, kütlesel çekimi öteki kuvvetlerle birleştirmenin en iyi yolu gibi görünüyordu. Ancak, 1984'te bu görüş "yay" kuramları yönünde olağanüstü bir biçimde değişti. Bu kuramlarda temel nesneler, uzayda tek bir noktayı kaplayan parçacıklar yerine son-

suz incelikte bir yay gibi, uzunluktan başka boyutu olmayan şeylerdir. Bu yaylar ya uçları olan "açık yay"lar ya da uçlarının birleşmesiyle bir halka gibi kapanan "kapalı yay"lardır (Şekil 10.1 ve 10.2). Parçacık uzayda her an tek bir noktayı kaplar. Bundan dolayı geçmişi uzay-zamanda "evren çizgisi" denilen bir çizgi ile gösterilebilir. Öte yandan bir yay, zamanın her anında uzayda bir çizgiyi kapladığından, uzaydaki geçmişi de "evren yüzeyi" denilen iki boyutlu bir yüzeydir. (Evren yüzeyi üzerindeki herhangi bir nokta iki sayıyla belirtilebilir; biri zamanı, öbürü de noktanın yay üzerindeki konumunu belirtir.) Açık bir yayın evren yüzeyi bir şerittir; kenarları, yayın uçlarının uzay-zaman içindeki yolunu çizer (Şekil 10.1). Kapalı bir yayın evren yüzeyi ise bir silindir ya da borudur (Şekil 10.2); borunun kesiti, yayın belli bir andaki konumunu gösteren bir daire olur.

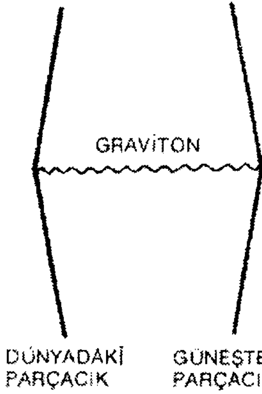


Şekil 10.3



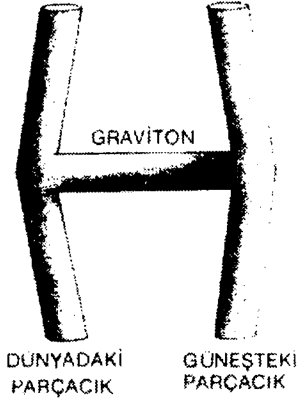
Şekil 10.4

İki yay parçası birleşerek tek bir yay oluşturabilir; açık yaylar yalnızca uç uca eklenmiş olur (Şekil 10.3), kapalı yaylar için ise durum bir pantololun bacaklarının birleşmesine benzer (Şekil 10.4). Benzer biçimde bir yay parçası iki yaya bölünebilir. Daha önce parçacık olarak düşündüğümüz şeyler, yay kuramlarında, sallanan bir uçurtmanın ipi üzerinde giden dalgalar gibi görülebilir. Bir parçacığın öbürü tarafından soğurulması ya da yayınlanması, yayların bölünmesine ve birleşmesine karşılık gelir. Örneğin güneşin dünya üzerindeki kütlesel çekimi parçacık kuramlarında, bir grevitonun güneşteki bir parçacık tarafından yayınlanıp dünyadaki bir parçacık tarafından soğurulmasıyla açıklanmaktaydı (Şekil 10.5). Yay kuramında aynı süreç Şekil 10.6'daki H-biçiminde bir boruya karşılıktır (yay kuramı ile su tesisatı arasında bir anlamda büyük benzerlik var). H'nin iki düşey kolu, güneş ve dünyadaki



Şekil 10.5

ZAMAN



Şekil 10.6

parçacıklara, yatay parçası ise ikisi arasında yol alan gravitona karşılıktır.

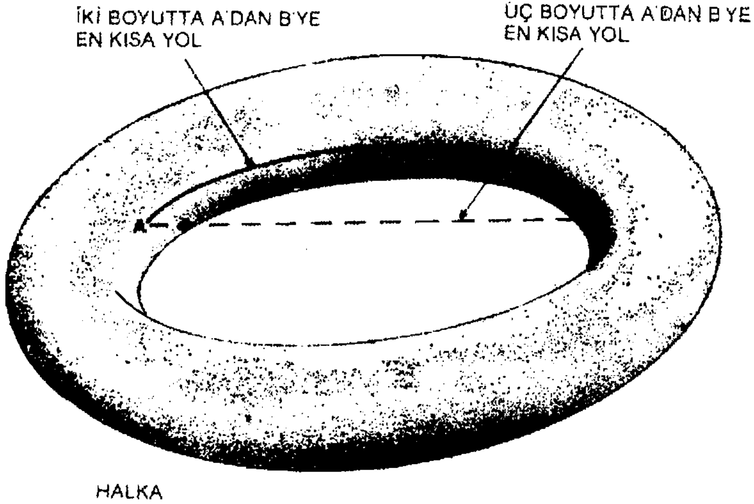
Yay kuramının tarihi pek ilginçtir. 1960'ların sonunda, aslında güçlü kuvveti betimleyecek bir kuram bulma girişimiyle ortaya atılmıştır. Proton ve nötron gibi parçacıkların yay üzerinde dalgalar gibi görülebileceği düşüncesine dayanır. Parçacıklar arasındaki güçlü kuvvet, tıpkı bir örümcek ağındaki gibi öbür yay parçaları arasındaki yaylar gibidir. Bu kuramın parçacıklar arasında gözlemlenen güçlü kuvveti verebilmesi için, yayların on tonluk gerilmeye dayanan lastik şeritler gibi olması gerekmekteydi.

1974'te Paris'ten Joel Scherk (Şerk) ve California Institute of Technology'den John Schwarz (Şvarz) yayınladıkları bir makalede yay teorisinin kütlesel kuvveti açıklayabileceğini, ancak bunun için yaydaki gerilimin çok daha fazla, milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyar (1'den sonra otuzdokuz sıfır) ton olması gerektiğini hesapladılar. Normal uzunluk ölçülerinde yay kuramının kestirimleri genel görelik kuramınınkilerle aynı olacak, ama çok küçük aralıklarda, santimetrenin milyon kere milyon kere milyon kere milyarda (1'den sonra otuz üç sıfır) birinden az uzaklıklarda, değişik olacaktı. Ne yazık ki bu çalışma pek dikkat çekmedi çünkü tam o sırada pek çok kişi, güçlü kuvvete i-

lişkin yay kuramının bırakmış, gözlemlere daha güzel uyduğu için kuvark ve gluonlara dayalı kurama girişmişti. Scherk acıklı koşullarda öldü (şeker hastasıydı ve yanında insulin iğnesi yapacak kimse bulunmadığı bir sırada komaya girdi). Böylece Schwarz, yay geriliminin çok daha yüksek olduğu önerisi ile yay, kuramının hemen hemen tek destekçisi olarak kaldı.

1984'te yaylara ilgi, görünürde iki nedenle birdenbire yeniden uyandı. Birincisi, süperçekimin sonlu olduğunu göstermede ve onu kullanarak gözlemlediğimiz parçacık türlerini açıklamada pek bir ilerleme sağlanamamış olmasıydı. İkincisi, Londra'da Queen Mary College'lı John Schwarz ve Mike Green'in (Griyn) yayınladıkları, yay kuramının, gözlemlediğimiz bazı parçacıklar gibi yapısında solaklık bulunan parçacıkların varlığını açıklayabileceğini gösteren makaleydi. Nedenler her ne idiyse, bir sürü insan yay kuramı üzerinde çalışmaya başladı ve derhal "başkacıl yay" denilen ve gözlemlediğimiz parçacık türlerini açıklayabilecek gibi görünen yeni bir uyarlaması geliştirildi.

Yay kuramları da sonsuzluklara yol açar ama başkacıl yay gibi uyarlamalarında bunların birbirlerini tümüyle yokedecekleri düşünülmektedir (böyle olduğu kuramlarının daha büyük bir sorunu var: uzay-zamanın olağan boyutu değil de on ya da yirmialtı boyutu henüz kesin olarak bilinmiyor). Bununla birlikte yay varsa tutarlı olabiliyorlar! Fazladan uzay-zaman boyutları bilimkurguda doğal karşılanabilir; hatta aslında handiyse gereklidir, yoksa göreliğe göre ışıktan hızlı gidilemeyeceği gerçeği yıldızlar arasında yolculuğun çok uzun süreceği anlamına gelir. Bilimkurgudaki kanıya göre ise bir üst boyutta kısa bir yol bulunabilir. Bunu kafamızda şöyle canlandırabiliriz: içinde yaşadığımız uzay, iki boyutlu ve Şekil 10.7'deki halkanın yüzeyi gibi eğri olsun. Halkanın iç kenarındaki bir yerden yine halkanın iç kenarında karşıdaki bir yerden yine halkanın iç yüzeyinde bir yarım tur atmamız gerekir. Oysa üçüncü boyutta gidebilseydiniz, kısa yoldan dümdüz karşıya geçebilirdiniz.

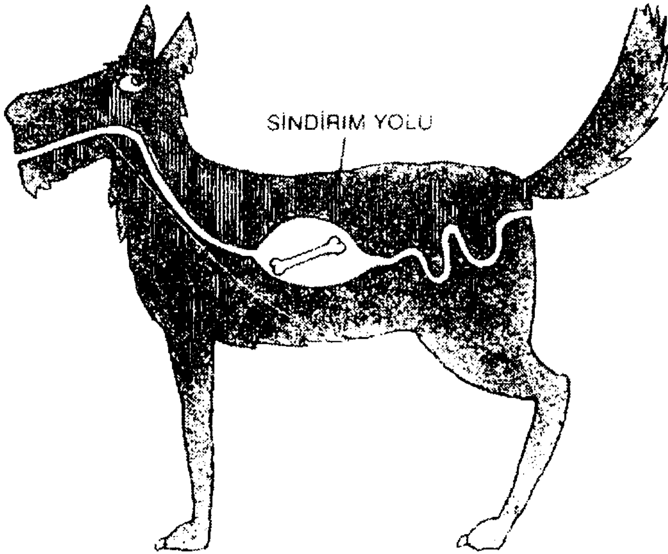


Şekil 10.7

Gerçekten tüm bu fazladan boyutlar varsa, biz niçin farkına varamıyoruz? Niçin yalnızca üç tane uzay ve bir tane zaman boyutunu görebiliyoruz? Bunu açıklamak için, öteki boyutların çok küçük santimetrenin milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyon kere milyonda biri kadar bir uzay parçası içinde bükülü kaldığı düşüncesi öneriliyor. Öyle küçük bir uzay parçası ki bu, boyutların farkında olamıyoruz: görebildiğimiz yalnızca uzay-zamanın büyük ölçüde düz olduğu tek bir zaman ve üç uzay boyutu. Bir portakalın yüzeyi gibi, yakından baktığımızda girinti çıkıntıları göremediğiniz için düzgün görünür. Uzay-zaman da böyledir; küçük ölçekte on boyutlu ve son derece eğridir, ama daha büyük ölçeklerde eğriliği ve fazladan boyutları göremezsiniz. Bu betimleme doğruysa, geleceğin uzay yolcuları için kötü haber demektir; fazladan boyutlar, uzay gemisinin geçemeyeceği denli küçük olacaktır. Ancak büyük bir sorun daha var. Nasıl olmuş da boyutların tümü değil bazısı küçük bir topun içinde yumak olmuş? Anlaşılan,

evrenin ilk zamanlarında, tüm boyutlar bükülüymüş. Öyleyse, niçin öteki boyutlar sımsıkı yumak gibi kalırken, bir zaman ve üç uzay boyutu çözülüp düzelmiş?

Bunun bir yanıtı insancı ilkeden gelebilir. İki uzay boyutunun, bizim gibi karmaşık varlıkların gelişmesine yeterli olamayacağı anlaşılıyor. Örneğin, tek boyutlu bir dünyada yaşayan iki boyutlu hayvanlar yolda birbirlerini geçebilmek için üst üste tırmanmak zorunda kalacaklardır. İki boyutlu bir yaratık, tümünü sindiremediği bir şeyi yediğinde, sindirim artıklarını yuttuğu yoldan geri çıkartmak zorunda kalacaktır, yoksa gövdesinin bir uçtan öbürüne kateden bir sindirim yolu yaratığı iki parçaya bölecek; ve zavallı iki boyutlu hayvanımız ortadan ikiye ayrılacaktır (Şekil 10.8). Benzer biçimde, iki boyutlu bir yaratıkta kan dolaşımının nasıl sağla-



Şekil 10.8

nabileceğini de düşünmek zordur.

Üçten fazla uzay boyutunda da sorunlar çıkacaktır. İki cisim arasındaki kütlesel kuvvet uzaklıkta, üç boyutta olduğundan daha çabuk azalacaktır. (Üç boyutta, uzaklık iki katına çıktığında kütlesel kuvvet 1/4'üne iner. Dört boyutta 1/8'ine ve beş boyutta 1/16'sına, vb. inecektir). Bunun önemli sonucu, dünya gibi gezegenlerin güneş etrafındaki yörüngelerinin kararsız olacağıdır: dairesel yörüngeden (öteki gezegenlerin kütlesel çekiminin neden olabileceği) en ufak bir sapma, dünyanın güneşe ya da güneşten uzağa doğru bir sarmal çizerek yörüngeden uzaklaşmasıyla sonuçlanacaktır. Ya yanardık ya da donardık. Aslında, üçten çok uzay boyutunda kütlesel çekimin uzaklıkla aynı biçimindeki bağıntısı, güneşin de, basıncın kütlesi çekimi dengelediği kararlı bir durumda varolmayacağı anlamına gelir. Güneş ya parçalanacak, ya da çökerek bir kara delik oluşturacaktır. Her iki durumda da Dünya'daki yaşam için ısı ve ışık kaynağı olarak işe yaramazdı. Daha küçük ölçekte elektronları atomun çekirdiği etrafında döndüren elektriksel kuvvetler de aynı kütlesel çekim kuvveti gibi davranacaklardır. Böylece elektronlar atomdan kurtulup uzaklaşacaklar ya da sarmal çizerek çekirdeğin üstüne düşeceklerdir. Her iki durumda da atomlar bildiğimiz biçimde olmazdı.

O halde, yaşamın, en azından bildiğimiz biçimiyle, üç uzay ve bir zaman boyutunun küçük bir yumak oluşturmadığı uzay-zaman bölgelerinde varolabileceği açık. Bu zayıf insancı ilkeye başvurulabilir demektir, yeter ki yay kuramı böyle bölgelerin varlığına olanak tanısın-zaten yay kuramı da gerçekten buna izin veriyor. Tüm boyutların küçük bir yumak olduğu ya da dörtten çok boyutun hemen hemen düz olduğu evrenin başka bölgeleri ya da başka evrenler (**başka** ne demekse) olabilir pekala, ama böyle bölgelerde değişik sayıdaki etkin boyutları gözlemleyecek zeki yaratıklar olmayacaktır.

Uzay-zamanın sahip olması gerektiği anlaşılan çok sayıdaki boyut sorunundan başka, yay kuramının fiziğin en yüce birleşik kuramı olduğunu ileri sürmeden önce, birkaç sorunun daha çözülmesi

gerekiyor. Sonsuzlukların tümünün birbirini götürüp götürmeyeceğini, ya da yay üzerindeki dalgalarla gözlemlediğimiz parçacıkların ilişkisini tam olarak nasıl kuracağımızı henüz bilmiyoruz. Bununla birlikte, önümüzdeki birkaç yıl içinde bu sorulara yanıtların bulunması ve yüzyılın sonuna doğru yay kuramının, gerçekten fiziğin uzun süredir peşinde koşulan birleşik kuramı olup olmadığının bilinmesi olasılığı yüksek.

Ancak bir de, böyle bir birleşik kuram gerçekten varolabilir mi? Yoksa aslında bir düş peşinde mi koşmaktayız? Üç olasılık var.

1. Tam bir birleşik kuram gerçekten var ve kafamızı çalıştırırsak bir gün bulacağız.

2. Evrenin yüce bir kuramı yok; yalnızca evreni gittikçe daha doğru betimleyen sonsuz bir kuramlar dizisi var.

3. Evreni tümüyle betimleyebilecek bir kuram yok; olaylar belli bir yere kadar kestirebilir, bundan ötesi gelişigüzel ve keyfidir.

Bazıları tam bir yasalar takımı olsaydı, bu, Tanrı'nın niyetini değiştirme ve dünyanın işine karışma özgürlüğünü çiğner diye üçüncü olasılığı savunacaklardır. Bu biraz şu eski paradoksa benzer: Tanrı kaldıramayacağı ağırlıkta bir taş yaratabilir mi? Ama Tanrı'nın niyetini değiştirmesi olayı zaten St. Augustine'in işaret ettiği gibi, Tanrı'yı zaman içinde varolan bir varlık gibi görme aldanışının bir örneğidir: zaman yalnızca Tanrı'nın yaratmış olduğu evrenin bir özelliğidir. Anlaşılan, evreni kurduğu zaman, neye niyetlendiğini biliyordu!

Tanecik mekaniğinin ortaya çıkışıyla, olayların tam bir doğrulukla bilinmeyeceğini, her zaman bir miktar belirsizlik bulunacağını anar olduk. İstenirse, belirsizlik içindeki bu gelişigüzellik Tanrı'dan bilinebilir, ancak Tanrı'nın bu biçimde işe karışması çok tuhaftır: herhangi bir amaca yönelik olduğu yolunda bir tanıt yoktur. Gerçekten böyle bir işe karışma olsaydı, tanım gereği gelişigüzel olmazdı. Çağımızda, yukarıdaki üçüncü olasılığı, bilimin ereğini yeniden tanımlayarak ortadan kaldırdık: ereğimiz, olayları yalnızca belirsizlik ilkesinin saptadığı sınırlara kadar kestirebilecek bir

yasalar takımını ortaya koymaktır.

İkinci olasılık, gittikçe daha doğruya yakın kuramların sonsuz bir dizisi olacağı, bugüne dek edindiğimiz tüm deneyimlere uygun. Birçok kez, ölçümlerimizin duyarlığını artırdığımızda, varolan kuramların kestiremediği yeni olgularla karşılaştık ve bunları açıklayabilmek için daha ileri kuramlar geliştirmek durumunda kaldık. O halde, büyük birleşik kuramların bugünkü kuşağının, 100 GeV yöresinde elektrozayıf birleştirme enerjisi ile bir milyon milyar GeV yöresinde büyük birleştirme enerjisi arasında önemli hiçbir şey olmayacağını ileri sürmekte yanılgıya düştüğünün ortaya çıkması pek de şaşırtıcı olmayacaktır. Aslında şimdi "temel" parçacıklar olarak ele aldığımız kuvark ve elektronlardan daha temel yapı katmanları bulmamız da olasıdır.

Ancak, öyle görünüyor ki kütlesel kuvvet, bu "kutu içinde kutu" dizisine bir sınır getirebilir. Planck enerjisi denilen on milyon kere milyon kere milyon GeV'dan (1'den sonra ondokuz sıfır) fazla enerjisi olan bir parçacığın kütlesi o denli sıkışık olurdu ki, parçacık kendini evrenden koparıp küçük bir kara delik oluşturdu. Böylelikle, gittikçe daha doğru kuramlar dizisinin, daha yüksek enerjilere çıkıldıkça bir sınırı olacağı ve bundan dolayı evrenin bir yüce kuramı olduğu sanılıyor. Şimdilerde laboratuvarlarda üretebildiğimiz en yüksek enerji olan yaklaşık yüz GeV, Planck enerjisinden çok çok uzakta doğal olarak. Bu aralığı parçacık hızlandırıcılarıyla yakın gelecekte kapatamayacağız! Ama, evrenin en baştaki aşamaları, böylesi enerjilerin ortaya çıkmış olması gereken durumlardır. Sanırım, evrenin ilk çağları ve matematik tutarlılığın gerekleri üzerinde sürdürdüğümüz çalışmaların, bugün aramızda bulunanların birçoğunun ömürleri bitmeden tam bir birleşik kurama ulaşması olasıdır, daha önce kendi kendimizi havaya uçurmamışsak.

Peki, evrenin yüce kuramını gerçekten bulmuş olmamız ne anlama gelecektir? Birinci bölümde açıklandığı gibi, kuramlar kanıtlanamayacağı için, gerçekten doğru kuramı bulduğumuzdan hiçbir zaman emin olamayacağız. Ama, kuram matematik açıdan tutarlı ve gözlemlere uyan kestirimler veriyorsa, aradığımız kuram oldu-

ğuna akla uygun ölçülerde inanabiliriz. Bu, insanlığın evreni anlamak için aydınca savaşım tarihinde uzun ve şanlı bir bölümü sona erdirmiş olacaktır. Ama aynı zamanda, sıradan insanın evreni yöneten yasaları anlayışını da kökten değiştirecektir. Newton'ın zamanında, aydın bir kişi, insanlığın bilgi dağarcığının tümünü, en azından kaba çizgileriyle bilebilirdi. O günden beri, bilimin gelişme hızı bunu olanaksız kıldı. Kuramlar, yeni gözlemlere uyacak biçimde sürekli değiştirildiğinden, bir türlü yeterince sindirilip basitleştirilemiyor ki sıradan insanlar anlayabilsin. Mutlaka konunun uzmanı olmanız gerekiyor, o zaman bile bilimsel kuramların ancak çok az bir bölümünü yeterince kavrayabilmeyi umabilirsiniz. Üstelik, ilerlemenin başdöndürücü hızı, okulda ya da üniversitede öğrencileri çabucacık eskitiyor. Yalnızca az sayıda birkaç kişi, bilginin hızla ilerleyen ön saflarına ayak uydurabiliyor; bunlar da tüm zamanlarını harcayıp ancak dar bir alanda uzmanlaşabiliyorlar. Nüfusun geri kalanının yapılan ilerlemelerden ve bunların yol açtığı heyecandan çok az haberi oluyor. Yetmiş yıl önce, Eddington'a inanılırsa, genel görelik kuramını anlayan yalnızca iki kişi vardı. Bugünlerde onbinlerce üniversite mezunu anlıyor bu düşünceyi, milyonlarca kişinin ise en azından bir tanışıklığı var. Eğer tam bir birleşik kuram ortaya çıkarılırsa, zaman içinde o da aynı biçimde sindirilip basitleştirilecek ve en azından kaba çizgileriyle okullarda okutulacaktır. İşte o zaman evreni yöneten ve varlığımızın sorumlusu yasaları hepimiz anlayabileceğiz.

Tam bir birleşik kuramı ortaya çıkaramasak bile, bu, olayları genelinde kestiremeyeceğiz demek değildir, iki nedenden dolayı. Birincisi tanecik mekaniğinin belirsizlik ilkesinin kestirme gücümüze getirdiği sınırlamadır. Bunu ortadan kaldırmamızın hiçbir yolu yok. Ancak uygulamada bu ilk sınırlama, ikincisinden çok daha az kısıtlayıcı, İkincisi, kuramın denklemlerini, çok basit durumlar dışında, tam olarak çözemememiz gerçeğinden kaynaklanıyor. (Newton'ın kütlesel çekim kuramında bile, üç cismin devinimini tam olarak hesaplayamıyoruz; cisimlerin sayısı ve kuramın karmaşıklığıyla zorluk daha da artıyor.) Maddenin davranışını yö-

neten yasaları, en uç koşullar dışında, şimdiden biliyoruz. Özellikle, tüm kimya ve biyolojinin temelinde yatan ana yasaları biliyoruz. Bununla birlikte henüz bazı konuları çözülmüş sorunlar katına çıkaramadık; örneğin, insan davranışını matematik denklemlerden kestirebilmek konusunda pek başarı sağlayamadık! Bundan dolayı, tam bir ana yasalar takımı bulsak bile, gerçekçi karmaşık durumlar için olası sonuçları yararlı bir biçimde kestirebilecek daha iyi yaklaşım yöntemleri geliştirmek, önümüzde yıllar alacak bir aydın görevi olarak duracaktır. Tam ve tutarlı bir birleşik kuram yalnızca ilk adım: ereğimiz, çevremizdeki olayları ve kendi varlığımızı tümüyle **anlamaktır.**

11

SONUÇ

Kendimizi şaşırtıcı bir dünyada bulmaktayız. Çevremizde gördüğümüz herşeyden bir anlam çıkarmak istiyor ve şu soraları soruyoruz: evrenin doğası nedir? Onun içindeki yerimiz ne, o ve biz nereden geldik? Evren niye böyle?

Bu sorulara yanıt verebilmek üzere bir "dünya tablosu" benimsiyoruz. Tepsi gibi dünyayı sırtında taşıyan sonsuz kaplumbağalar kulesi nasıl bir tablo ise, süperyaylar kuramı da öyle bir tablodur. İkincisi çok daha matematiksel ve hatasız olmasına karşın, her ikisi de evreni açıklamaya yönelik kuramlardır. Her iki kuram da gözlemsel tanıtdan yoksundur; hiç kimse sırtında bir dünya ile dev bir kaplumbağa görmemiştir, ama öte yandan bir süperyay gören de olmamıştır. Elbette, kaplumbağa kuramı iyi bir bilimsel kuram olma başarısını gösteremez, çünkü insanların dünyanın kenarından yuvarlanıp düşeceklerini öngörür. Deneyimler bunun böyle olduğunu göstermemiştir, ancak Bermuda Üçgeninde kaybolduğu ileri sürülen insanları açıklamak için ortaya atılmazsa!

Evreni betimleme ve açıklamaya yönelik ilk kuramsal çabalar, doğadaki olayların, tıpkı insan gibi ve önceden kestirilmeyecek biçimde davranan, insan duygularına sahip ruhlar tarafından yönetildiği düşüncesini içermekteydi. Bu ruhlar, güneş ve ay gibi göksel cisimlerle, nehir ve dağ gibi doğal cisimlerin içinde yaşamaktaydı.

Toprağın verimliliğini ve mevsimlerin dönüşünü sağlama bağlamak için kurbanlar ve adaklar gerekirdi onlar için. Ama yavaş yavaş bazı belirli düzenlerin bulunduğu farkedilmiş olmalı: güneş tanrısına herhangi bir kurban verilmesine bağlı olmaksızın güneşin her zaman doğudan yükselmesi ve batıdan alçalması gibi. Ayrıca, güneş, ay ve gezegenler gökyüzünde önceden akla uygun duyarlıkta kestirilebilen yörüngeler izlemekteydi. Güneş ve ay hâlâ tanrı olabilirdi ama onlar artık, güneşin Yahova için durduğu biçimindeki öyküler dışında yasalara kesinlikle uyan tanrılardı.

Bu yasalar ilk önceleri gökbilimi ve diğer birkaç durum için bilinmekteydi. Ama uygarlık ilerledikçe, özellikle son 300 yılda, yeni yeni birçok yasa ve düzen bulundu. Bu yasaların başarısı, ondokuzuncu yüzyılın başında Laplace'ı bilimsel belirlenirlik ilkesini ortaya atmaya yöneltti, yani evrenin belli bir andaki durumu bilindiğinde, onun evrimini belirleyecek bir yasa takımı olması gerekiyordu.

Laplace'ın belirlenirliği iki yönden eksikti. Yasaların nasıl seçilmesi gerektiğini söylemiyordu ve evrenin ilk durumunu belirlemiyordu. Bunlar Tanrı'ya bırakılmıştı. Evrenin nasıl başladığını ve hangi yasalara uyduğunu Tanrı seçerdi ama evren bir kez başladı mı artık onun gelişmesine karışmazdı. Aslında, Tanrı'nın sınırı ondokuzuncu yüzyıl biliminin anlamadığı alanlarda çizilmişti.

Şimdi biliyoruz ki Laplace'ın belirlenirlik umutları gerçekleşemez, en azından onun akılndan geçtiği biçimiyle. Tanecik mekaniğinin belirsizilik ilkesi, bir parçacığın konumu ve hızı gibi belli nicelik çiftlerinin aynı anda her iki öğesinin de kesin doğrulukla saptanamayacağını söylemektedir.

Tanecik mekaniği bu durumu, parçacıkların kesin tanımlı konum ve hızlarının olmadığı, bunun yerine dalgalarla gösterildiği bir sınıf tanecik kuramlarını kullanarak ele alır. Bu tanecik kuramları, dalganın zaman içinde evrimine ilişkin yasaları ortaya koymaları anlamında belirlenirliğe uyar. Şu halde, dalga belli bir anda biliniyorsa başka bir an için hesaplanabilir. Kestirilemeyen, gelişigüzel öğe, dalgayı ancak parçacıkların konumu ve hızı biçiminde yo-

rumlamaya kalktığımız zaman ortaya çıkar. Ama belki bu bizim yaptığımız bir yanlışlık: belki de parçacığın konumu ve hızı diye bir şey yok, yalnızca dalga var. Dalgayı daha önceleri kavradığımız konum ve hıza ilişkin düşünce kalıpları içine uydurmaya çalışıyor olabiliriz. Sonuçta ortaya çıkan uyuşmazlık görünürdeki bu kestirilemezliğin nedeni olabilir.

Esas olarak bilinen görevini, olayları belirsizlik ilkesinin çizdiği sınırlara kadar önceden hesaplayabileceğimiz yasaları bulma biçiminde yeniden tanımladık. Ama şu soru hâlâ duruyor: yasalar ve evrenin ilk durumu nasıl ya da niçin seçilmiştir?

Bu kitapta kütlesel çekimi yöneten yasalara özel önem verdim, çünkü dört sınıf kuvvet arasında en zayıfı olmasına karşın, evrenin büyük ölçekteki yapısını biçimlendiren, kütlesel çekim kuvvetidir. Kütlesel çekim yasaları yakın bir geçmişe kadar doğru kabul edilen, evrenin değişmediği görüşü ile uyuşmadığı gibi, bu kuvvetin her zaman çekici olması, evrenin ya genişlediğini ya da büzüldüğünü üstü kapalı biçimde söylemektedir. Genel görelik kuramına göre geçmişte, zamanın gerçek anlamıyla başladığı büyük patlama denen sonsuz yoğun bir durumun olması gerekmektedir. Benzer biçimde, gelecekte bütün evren çökecek olursa, büyük çatırtı denen ve zamanın bittiği başka bir sonsuz yoğun durumun olması gerekmektedir. Evrenin tümü çökmese bile, kara delikleri oluşturmak üzere çöken bölgelerde tekil noktalar ortaya çıkacaktır. Bu tekillikler, kara deliğin içine düşen herkes için zamanın sonu anlamına gelmektedir. Büyük patlama anında ve diğer tekil noktalarda bütün yasalar işlemez olacağı için, Tanrı hâlâ canı istediği gibi olacakları seçme ve evreni başlatma özgürlüğüne sahiptir.

Tanecik mekaniğini genel görelikle birleştirdiğimiz zaman daha önce görülmeyen yeni bir olanak ortaya çıkar; uzay ve zaman beraberce, dünyanın yüzeyi gibi ama daha fazla boyutlu, tekil noktaların ve sınırların olmadığı, dört boyutlu bir uzay oluşturabilir. Öyle görünüyor ki, bu düşünce, evrenin büyük ölçekteki düzgünlüğü ya da daha küçük ölçekteki, galaksi, yıldız, ve hatta insanoğlu örneği bu düzgünlükten sapmaları gibi, evrenin gözlemlediğimiz ö-

zelliklerini açıklayabilir. Hatta gözlemlediğimiz zamanın okunu bile açıklayabilir. Fakat, evrenin hiçbir tekil noktası ve sınırı yoksa ve bir birleşik kuramla tamamen betimlenebiliyorsa, bu Tanrı'nın **Yaratıcı** rolüne ilişkin derin kuşlular uyandırmaz mı?

Einstein bir zamanlar şu soruyu sormuştu: "Tanrı evreni kurarken ne kadar seçme özgürlüğüne sahipti?" Eğer sınırsızlık önerisi doğruysa ilk koşulları seçmek gibi bir özgürlüğü hiç yoktu. Elbette, evrenin işleyiş kurallarını seçme özgürlüğüne hâlâ sahip olabilirdi. Ama bu, öyle esaslı bir seçme özgürlüğü sayılmayabilir; pekala da, kendi içinde tutarlı, ve insanoğlu gibi evrenin yasalarını araştırıp Tanrı'nın doğasına ilişkin sorular sorabilecek karmaşık yapıda varlıkların ortaya çıkmasına izin veren, yalnızca bir tek ya da çok az sayıda, başkacıl yay kuramına benzer tam birleşik kuramlar olabilir.

Yalnızca bir tek birleşik kuram olanaklı olsa bile, bu kural ve denklem takımlarından başka birşey değildir. Bu denklemlere yaşam veren ateşi üfleyen ve onlara betimleyecekleri evreni sağlayan asıl şey nedir? Bilimin matematiksel modeller kuran genel yaklaşımı, modelin betimlemsi için neden bir evren olması gerektiğine ilişkin sorulara yanıt veremez. Evren niye kalkıp da varolma rahatsızlığına katlanıyor? Birleşik kuram o kadar zorlayıcı mı ki, kendi varlığını ortaya çıkarıyor? Yoksa bir yaratıcıya gereksinimi mi var; öyleyse, o yaratıcının evren üzerinde başka bir etkisi var mı? Ve onu kim yarattı?

Bilim adamlarının çoğu bugüne kadar evrenin ne olduğu sorusuna yanıt aramakla son derece meşgul olup, **niçin** diye sormaya fırsat bulamadılar. Öte yandan, görevleri **niçin** diye sormak olan diğer kişiler, feylesoflar, bilimsel kuramların gelişmesine ayak uyduramadılar. On sekizinci yüzyılda, feylesoflar insanoğlunun tüm bilgisini, bilimi de kapsayarak kendi uzmanlık alanları içinde görüp, "Evrenin başı var mıydı?" gibi soruları tartıştılar. Ancak, ondokuzuncu ve yirminci yüzyıllarda bilim, feylesoflar ya da birkaç uzman dışında herkes için son derece teknik ve matematiksel oldu. Feylesoflar araştırmalarının alanını o denli daralttılar ki, bu yüzyı-

lın tanınmış feylesoflarından Wittgenstein (Vitgınstayn) "Felsefenin geriye kalan tek görevi, dillerin çözümünü yapmak" dedi. Aristo'dan Kant'a uzanan felsefenin büyük geleneğinden sonra ne korkunç bir düşüş!

Günün birinde eksiksiz bir birleşik kuram bulursak, bu, yalnızca birkaç bilimci tarafından değil, genelinde herkes tarafından anlaşılabilir olmalı. İşte o zaman biz hepimiz, feylesflar, bilimciler ve sokaktaki adam, "biz ve evren niçin varız?" sorusunu tartışabileceğiz. Hele bunu yanıtlayabilirsek, insan aklının en yüce zaferi olacak -çünkü o zaman Tanrı'nın aklıdan neler geçtiğini bileceğiz.

ALBERT EINSTEIN

Einstein'ın atom bombası politikası ile bağlantısı çok iyi bilinir: Amerika Birleşik Devletleri'ni, atom bombası yapma düşüncesini ciddiye almaya ikna eden Başkan Franklin Roosevelt'e (Ruzvelt) yazılan meşhur mektubu imzalamış ve savaş sonrası, nükleer savaşı önleme çabalarına katılmıştı. Ama bunlar politika dünyasına sürüklenmiş bir bilimcinin tek tük ortaya koyduğu kopuk eylemler değildi. Aslında Einstein'ın yaşamı, kendi sözleri ile, "politika ve denklemler arasında bölünmüştü".

Einstein'ın ilk politik eylemleri, Birinci Dünya Savaşı sırasında Berlin'de profesörken başlar. İnsan yaşamının boş yere harcanmasına dayanamayarak, savaşa karşı gösterilerde yer aldı. Halkı kurallara uymamaya çağırması ve zorunlu askere yazılmaya karşı çıkmak üzere cesaretlendirmesi, meslektaşları arasında pek sevgiyle karşılanmadı. Savaştan sonra, çabalarını uzlaşma ve uluslararası ilişkileri geliştirmeye yöneltti. Bu da onu, o kadar sevilen birisi yapmadı, artık bir süre sonra politikası, ders vermek için bile Birleşik Devletleri ziyaret etmesini zorlaştırıyordu.

Einstein'in ikinci büyük ülküsü Siyonizm'di. Yahudi bir aileden gelmesine rağmen, Tevrat'daki Tanrı düşüncesini reddediyordu. Bununla birlikte, Birinci Dünya Savaşı öncesi ve sırasında artan antisemitizmin bilinci, Einstein'ı yavaş Yahudi toplumuyla özdeşleşmeye ve daha sonra da Siyonizm'in en büyük savunucularından

biri olmaya götürdü. Bir kez daha, düşman kazanmak onu inandıklarını söylemekten geri çevirmedi. Kuramları saldırıya uğradı; hatta kişiliğine karşı bir örgüt bile kuruldu. Adamın biri, başkalarını Einstein'i öldürmeye kışkırtma suçundan hüküm giydi (ve sadece altı dolar cezaya çarptırıldı). Ama Einstein serinkanlılığını hep korudu: Einstein'e Karşı 100 Yazar adlı bir kitap yayınlandığı zaman, "Eğer haksız olsaydım, yalnızca bir tanesi yeterdi!" diyerek karşılığını verdi.

1933 yılında Hitler iktidara geldi. Einstein o zaman Amerika'daydı ve Almanya'ya dönmeyeceğini ilan etti. Bunun üzerine, Nazi milisleri evini basıp, banka hesabına el koyarken, bir Berlin gazetesi de "Einstein'dan İyi Haber, Geri Gelmiyor" biçiminde başlık atıyordu. Nazi tehlikesi karşısında, Einstein, barışseverlik düşüncesini terketti ve en sonunda, Alman bilimcilerinin atom bombasını yapmalarından korkarak, Birleşik Devletlerin de kendi bombasını geliştirmesini önerdi. Ama daha ilk atom bombası patlatılmadan, kamuoyunu nükleer savaşın tehlikelerine karşı uyarıyor ve nükleer silahların uluslararası denetimini öneriyordu.

Yaşamı boyunca, Einstein'ın barışa yönelik çabaları pek kalıcı sonuçlar doğurmadı ve kesinlikle ona arkadaş kazandırmadı. Ama Siyonizm ülküsüne verdiği açık destek, 1952 yılında kendisine İsrail'in Cumhurbaşkanlığı önerildiği zaman hakkıyla tanınmış oldu. Politika için çok toy olduğunu söyleyerek, bunu reddetti. Ama belki de gerçek nedeni başkaydı: yine ondan alıntıyla, "Denklemler benim için çok daha önemlidir, çünkü politika bugün içindir, oysa ki bir denklem sonsuzluk içindir."

GALILEO GALILEI

Modern bilimin doğuşunu Galileo kadar belki de hiç kimse etkilememiştir. Felsefenin temelinde Katolik Kilisesiyle olan ünlü çelişkisi yatmaktadır, çünkü Galileo, insanın, dünyanın nasıl işlediğini kavramayı umabileceğini ve üstelik bunu, gerçek dünyayı gözlemleyerek eldè edebileceğini ileri süren ilk kişiydi.

Galileo, Kopernik'in kuramına (gezegenlerin güneş etrafında döndüğü kuramı) ta baştan beri inanmaktaydı, ama ancak, bu görüşü doğrulayacak tanıtları bulduktan sonra yaygın olarak desteklemeye başladı. Kopernik'in kuramına ilişkin İtalyanca (normal olarak kullanılan akademik Latince değil) yazılar yayınladı ve görüşleri kısa bir süre içinde üniversite dışında da geniş destek gördü. Bu, Aristocu profesörleri çileden çıkartarak, Katolik Kilisesini, Kopernik'in düşüncelerini yasaklamaya ikna etmek üzere Galileo'ya karşı birleşti.

Bundan endişelenen Galileo, kilise yetkilileri ile görüşmek üzere Roma'ya gitti. İncil'in amacının bilimle uğraşmak olmadığını, İncil'in sağduyuyla çeliştiği yerlerde ise ancak mecazi anlamı olabileceğini savundu. Ama kilise, Protestanlığa karşı verdiği savaşı köstekleyecek herhangi bir skandaldan korkmaktaydı ve bu yüzden baskı önlemlerine başvurdu. Kopernik'çiliği 1616 yılında "yanlış ve asılsız" ilan ederek, Galileo'ya, kesinlikle bir daha bu öğretiyi " tutmamayı ve savunmamayı" buyurdu. Galileo buna razı oldu.

1623 yılında Galileo'nun eski bir arkadaşı papa oldu. Galileo

hemen 1616 buyruğunun kaldırılması çabalarına girişti. Bunu başaramadı ama şu iki koşulla, Aristo ve Kopernik kuramlarının her ikisini de anlatan bir kitap yayınlama izni almayı becerdi: taraf tutmayacaktı ve insanoğlunun hiçbir şekilde dünyanın nasıl işlediğini belirleyemeceği sonucuna ulaşacaktı, çünkü Tanrı aynı olayları, onun mutlaka gücüne kısıtlamalar koyamayacak insanoğlunun kafasında hiçbir zaman canlandıramayacağı biçimlerde gerçekleştirebilirdi.

"İki Ana Dünya Sistemine İlişkin Diyalog" adlı kitap, sansürcüleri de arkasına alarak 1632 yılında tamamlandı ve basılır basılmaz Avrupa'da edebi ve felsefi bir başyapıt olarak karşılandı. Papa, bir süre sonra halkın kitabı Kopernikçilik'ten yana yorumladığının farkına vararak, yayınlanmasına izin verdiğinden pişmanlık duydu. Sansürcülerin resmi onayından geçmiş olmasına karşın, kitabın yine de 1616 buyruğuna karşı geldiğini ileri sürdü. Galileo'yu Engizisyon'un önüne çıkardı. Engizisyon Galileo'yu ömür boyu ev hapsine ve Kopernikçiliği halk önünde reddetmeye mahkûm etti. Galileo bir kez daha razı oldu.

Galileo Katolikliğe bağlı kaldı, ama bilimin bağımsızlığına olan inancı hiçbir zaman kırılmadı. 1642'deki ölümünden dört yıl önce hâlâ ev hapisindeyken, ikinci büyük kitabının el yazmaları Hollanda'da bir yayıncıya kaçırıldı. İşte "İki Yeni Bilim" diye bilenen bu çalışma, Kopernik'e olan desteğinin de ötesinde, modern fiziğin doğuşu olacaktı.

ISAAC NEWTON

Isaac Newton hoş bir adam değildi. Diğer akademi üyeleriyle ilişkileri çok kötü idi ve yaşamının son bölümlerin ateşli anlaşmazlıklarla geçmişti. "Principia Mathematica" -kuşkusuz fizik alanında yazılmış en etkili kitaptır- yayınlandıktan sonra şöhreti halkın gözünde hızla yükseldi. Kraliyet Derneğine başkan olarak atandı ve şövalyelik nişanı verilen ilk bilimci oldu.

Newton kısa bir süre sonra, kendisine Principia için çok gerekli verileri sağlayan ama şimdi istediği bilgileri vermeyen Kraliyet Gökbilimcisi John Flamsteed (Flamstiyd) ile çatıştı. Newton hayır diye bir yanıt kabul etmezdi; kendisini Kraliyet Gözlemevinin yönetici kadrosuna atattırdı ve verilerin derhal basılması için zorlamaya başladı. En sonunda, Flamsteed'in ölümcül düşmanı Edmond Halley (Hali) tarafından basıma hazırlanmasını düzenledi. Flamsteed bunun üzerine mahkemeye başvurdu ve çalınmış çalışmalarının dağıtımını engelleyecek bir mahkeme kararını tam zamanında çıkardı. Öfkelenen Newton, öcünü, Principia'nın sonraki basımlarında Flamsteed'e ait referansların hepsini sırayla çıkartarak aldı.

Alman feylesof Gottrieb Leibniz (Laybnitz) ile daha da ciddi bir anlaşmazlıkları vardı. Leibniz ve Newton'un her ikisi de birbirinden bağımsız olarak, modern fiziğin büyük ölçüde temeli olan "calculus" denen bir matematik dalını geliştirmişlerdi. Newton'un bu yöntemi Leibniz'den yıllar önce bulduğunu şimdi biliyorsak da,

bu çalışmasını Newton çok daha sonra bastırmıştı. İki tarafı da savunan bilimcilerle birlikte, kimin birinci olduğuna ilişkin korkunç bir patırtı kopmaktaydı. İşin garip tarafı, Newton'u savunuyor gözüken yazıların çoğu Newton'un kendisi tarafından kaleme alınmış ve arkadaşlarının adıyla yayınlanmıştı. Kavga büyürken, Leibniz anlaşmazlığın çözümlenmesi için Kraliyet Derneğine başvurma yanlışlığında bulundu. Newton, başkan olarak, araştırma için "tarafsız" bir komite atadı, tesadüfen tamamen arkadaşlarından oluşan! Bununla da kalmayıp, komitenin raporunu kendisi yazdı ve Leibniz'i eser hırsızlığı ile suçlayarak bu raporu Kraliyet Derneği tarafından bastırdı. Daha hâlâ yetinmeyip, bu raporu konu alan bir yazıyı da Kraliyet Derneği'nin yayın organında isimsiz yayınladı. Leibniz'in ölümünden sonra, Newton'un "Leibniz'in kalbini kırmaktan" büyük bir zevk aldığını açıkladığı söylenir.

Bu iki anlaşmazlık sırasında Newton Cambridge'i ve akademik dünyayı zaten terketmişti. Önce Cambridge'de, sonra Parlamento'da antikatolik politikaya katıldı ve en sonunda kazançlı bir iş olan Kraliyet Darphanesi Müdürlüğü'ne getirildi. Yeteneklerini, burada sahtekarlığa karşı toplumca daha kabul edilebilir biçimde, sahte para basmaya karşı büyük bir kampanyaya önderlik ederek ve hatta birkaç kişiyi darağacına göndererek kullandı.

SÖZLÜK

A

abak	(abacus)	Hesap tahtası
ağırlık	(weight)	Bir kütlesel çekim alanının bir cisme uyguladığı kuvvet. Kütle ile doğru orantılı fakat ondan farklıdır.
alan	(field)	Bir anda tek bir konumda bulunabilen parçacığa karşın, uzay ve zaman boyunca varolabilen şey.
analiz	(analysis)	Çözümleme.
atom	(atom)	Sıradan maddelerin temel birimi. Proton ve nötronlardan bir çekirdek etrafında dönen elektronlardan oluşur.

B

bakışık	(symmetrical)	Simetrik.
bakışım ekseni	(axis of symmetry)	Simetri ekseni
başkacıl yay kuramı	(heterotic string theory)	
belirlenir	(deterministic)	
belirlenirlik	(determinism)	Determinizm.
belirsizlik ilkesi	(uncertainty principle)	Heisenberg ilkesi
benzeş	(analogue)	Analog
betimlemek	(describe)	Tasvir etmek.
beyaz cüce	(white dwarf)	Elektronlar arasındaki dışlama ilkesi itimiyle ayakta duran kararlı soğuk yıldız.
boson	(boson)	Bkz. kütleli vektör boson.
bozunma	(decay)	
büyük birleşik kuram (BBK)	(grand unified theory GUT)	Elektromanyetik, güçlü ve zayıf kuvvetleri birleştiren kuram.
büyük birleşim enerjisi	(grand unification energy)	Elektromanyetik, güçlü ve zayıf kuvvetlerin ayrımının yok olduğu en düşük enerji düzeyi.
büyük çatırtı	(big crunch)	Evrenin sonundaki tekillik
büyük patlama	(big bang)	Evrenin başlangıcındaki tekillik.
büzülme	(contract)	
büzüşme	(contract)	

C

Chandrasekhar sınırı	(Chandraskekhar limit)	Kararlı bir soğuk yıldızın en üst kütlesi. Bu sınırın üstünde bir kütlesi olan yıldız çökerek bir kara delik oluşturmalıdır.

Ç

çekirdek kaynaşması	(nuclear fusion)	İki atom çekirdeğinin çarpışıp daha ağır tek bir çekirdek oluşturması işlemi.
çekirdek	(nucleus)	Atomun yalnızca, güçlü kuvvetin birarada tuttuğu proton ve nötronlardan oluşan özek bölgesi.
çevrim	(cycle)	Döngü, dönüş.
çıplak tekillik	(naked singularity)	Bir kara delik tarafından çevrelenmeyen uzay-zaman tekilliği.
çizge	(graph)	
çöküş	(collapse)	

D

dalga/parçacık ikiliği	(wave/particle duality)	Tanecik mekaniğinin, dalga ve parçacıklar arısında bir ayrım olmaması kavramı; parçacıklar bazan dalgalar gibi, dalgalar da bazan parçacıklar gibi davranabilir.
dalgaboyu	(wavelenght)	Bir dalga için, iki dalga tepesi, ya da iki dalga çukuru arasındaki uzaklık.
darbe	(pulse)	
dedektör	(detector)	Bir şeyi ayırdeden, algılayan aygıt; alıcı
determinizm	(determinism)	Belirlenirlik, gerekircilik
devinim	(motion, movement)	Hareket.
dışlama ilkesi	(exclusion principle)	Birbirinin aynı iki 1/2- dönmeli parçacık (belirsizlik ilkesinin sınırları içinde) hem aynı konumda, hem de aynı hızda olamazlar.
dizge	(system)	Sistem
doğal seçilim	(natural selection)	Darwin'in ilkesi
dönme	(spin)	Temel parçacıkların içsel bir özelliği
dünyaözekçi	(geocentric cosmology)	Özek olarak yerküresini alan evrenbilimi görüşü.
durağan	(stationary)	Yerinden oynamayan, zamanla değişmeyen
durağanlık	(stationary state)	Zamanla değişmeme durumu. Sabit bir hızla kendi ekseni etrafında dönen bir küre durağandır, çünkü statik olmadığı halde her an aynı görünür.
dürtü	(impulse)	Çok kısa zamanda etkisini gösteren kuvvet, darbe.

E

eğrilik	(curvature)	
elektrik yükü	(electric charge)	Bir parçacığın, aynı (ya da karşı) yükse parçacıkları itmesi (ya da çekmesi) özelliği.
elektromanyetik kuvvet	(electromagnetic force)	Elektrik yüklü parçacıklar arasında kuvvet. Dört temel kuvvetten en şiddetli ikincisi.
elektron	(electron)	Atomun çekirdiği etrafında dönen eksi elektrik yüklü parçacık.
elektro zayıf birleşim enerjisi	(electroweak unification energy)	Daha üstünde elektromanyetik kuvvet ile zayıf kuvvetin ayrımının ortadan kalktığı yaklaşık 100 GeV'luk enerji.
eliptik	(elliptical)	Oval, beyzi, çekik daire biçiminde.
enerjinin korunumu	(conservation of energy)	Enerji (ya da eşdeğeri olan kütlenin) ne yaratılabileceğini ne de yokedilebileceğini belirten bilim yasası
entropi	(entropy)	
erken kara delik	(primordial black hole)	Evrenin ilk evrelerinde yaratılmış kara delik.
eter	(ether)	
evren çizgisi	(world-line)	
evren yüzeyi	(world-sheet)	
evren	(universe)	Kainat.
evrenbilimi	(cosmology)	Evreni bir tüm olarak ele alan bilim, kozmoloji.
evrenbilimsel sabit	(cosmological constant)	Einstein'in uzayzamana içsel bir genişleme eğilimi vermek için kullandığı matematik araç.
evrim	(evolution)	

F

faz	(phase)	Bir dalga için, belli bir anda, çevrimindeki konumu; dalganın çukurda, tepede ya da arada bir noktada bulunmasının ölçüsü.
faz geçişi	(phase transition)	
foton	(photon)	Bir ışık taneciği.
frekans	(frequency)	Bir dalga için saniyedeki çevrim sayısı.

G

galaksi	(galaxy)	Yıldız kümesi ya da yıldız kümesi oluşturacak madde topluluğu.
gama ışını	(gamma ray)	Çok kısa dalgaboyu elektromanyetik dalga. Radyoaktif bozunma ya da temel parçacıkların çarpışmasıyla ortaya çıkar.
genel görelik kuramı	(theory of general relativity)	Einstain'in deviniminden bağımsız olarak her gözlemci için bilim yasalarının aynı olacağı düşüncesine dayanan kuramı. Kütlesel çekim kuvvetini dört boyutlu uzayzamanın eğriliği ile açıklar.
girişim	(interference)	
gizemli	(mystic)	esrarengiz, mistik
gluon	(gluon)	
gökbilimi	(astronomy)	Astronomi
görelik kuramı	(theory of relativity)	Einstein'in ünlü kuramı, izafiyet kanunu. Bk. özel görelik kuramı, genel görelik kuramı.
gözlem	(observation)	Rasat.
graviton	(graviton)	Çekim parçacığı
güçlü kuvvet	(strong force)	Dört temel kuvvetin en güçlüsü ve menzili en kısa olanı. Kuvarkları protonlar ve nötronları da atom çekirdeği oluşturacak biçimde birarada tutar.
güneşözekçi evrenbilim	(heliocentric cosmology)	Özek olarak güneşi alan evren bilimi görüşü
insancı ilke	(anthropic principle)	İnsanı evrenin özeği ve ereği olarak ele alan düşünüş, daha çok "insaniçinci" (anthropocentric) olarak geçer. Çünkü başka türlü olsaydı, burada olup onu gözlemleyemezdik.

I

ışık konisi	(light cone)	Bir olaydan geçen ışık ışınlarının olanaklı yönlerini çizen bir uzay zaman yüzeyi.
ışıkyılı (ışıksansiyesi)	(light-year (light-second)	Işığın bir yılda (saniyede) aldığı yol.
ışıltı	(luminosty)	ışık kaynağının parlaklık derecesi.
ışıma	(radiation)	

İ

irimolekül	(macromolecule)	
ivme	(acceleration)	Bir nesnenin zamana göre hızındaki değişim

J

jeodezik	(geodesic)	İki nokta arasındaki en kısa (ya da en uzun) yol.

K

kanıt	(proof)	Düşün yoluyla ispat.
kapatma	(confinement)	
kara delik	(black hole)	Kütlesel çekim çok şiddetli olduğundan ışığın bile kaçamayacağı uzay-zaman bölgesi.
karmakarışık şişen model	(chaotic inflatonary model)	
karmakarışıklığın sınır koşulu	(chaotic boundary conditions)	
karmaşık	(complicated)	
karşıparçacık	(antiparticle)	Her madde parçacığına karşılık bir karşıparçacık bulunur. Parçacık karşıparçacığıyla çarpışınca, birbirlerini yokederler, geriye yalnız enerji kalır.
kendiliğinden bozunma	(spontaneous decay)	
kestirim	(periction)	Gözlemleri önceden görme, hesaplama, tahmin, öngörü.
kırmızıya kayma	(red shift)	Bizden uzaklaşan bir yıldızın ışığının, Doppler etkisi nedeniyle kırmızılaşması.
koordinat	(coordinate)	Bir noktanın konumunu uzay ya da zamanda bir eksene göre belirleyen sayı.
kritik	(critical)	Dönüm noktasına ilişkin.
kuram	(theory)	Teori
kütle	(mass)	Bir cisimdeki maddenin niceliği; eylemsizlik, ya da ivmeye direnci.
kütleli vektör boson	(massive vector boson)	
kütlesel çekim kuvveti	(gravity)	
kuvark	(quark)	Güçlü kuvvetten etkilenen (yüklü) temel parçacık; Proton ve nötronların herbiri üç kuvark taşır.
kuvasar	(quasar)	

M

manyetik alan	(magnetic field)	Manyetik kuvvetleri doğuran ve şimdi, elektrik alanı ile birlikte elektromanyetik alanda ele alınan alan.
meson	(meson)	
mikrodalga zemin ışıması	(microwave background radiation)	Evrenin en sıcak ilk evrelerinden gelen ışıma; şimdi öyle kırmızıya kaymıştır ki ışık olarak değil, mikrodalgalar olarak algılanır.
mutlak konum	(absolute position)	
mutlak sıfır	(absolute zero)	Maddenin ısı enerjisinin sıfır olduğu en düşük sıcaklık.

N

nötrino	(neutrino)	Çok hafif, belki de kütlesiz temel madde parçacığı; yalnızca zayıf kuvvet ve kütlesel çekim kuvvetinden etkilenir.
nötron yıldızı	(neutron star)	Nötronlar arasındaki dışlama ilkesi itimiyle ayakta duran bir soğuk yıldız.
nötron	(neutron)	Protona benzeyen yüksüz ve çoğu atomların çekirdeğindeki parçacıkların yarısını oluşturan parçacık.

O

Occam'ın traş bıçağı	(Occam's razor)	Altın makas. Occam, adcı (nominalist) akımın savunucusu olan bir 13. yy. İngiliz feylesofudur.
olay ufku	(event horizon)	Bir kara deliğin sınırı.
olay	(event)	Uzay-zamanda zamanı ve konumu ile belirlenen bir nokta.
oylum	(volume)	Hacim.

Ö

öğreti	(doctrine)	
öngörü	(prediction)	Kestirim, tahmin, birşeyin olacağını önceden bilebilmek
öteyer	(elsewhere)	Olayın ışık konilerinin dışı.
özek	(center)	Merkez.
özel görelik kuramı	(theory of special relativity)	Einstein'ın hızları ne olursa olsun özgürce devinen her gözlemci için bilim yasalarının aynı olacağı düşüncesine dayanan kuramı.

P

paradoks	(paradox)	Çelişki, aykırılık, tutmazlık.
parçacık hızlandırıcısı	(particle accelerator)	Elektromıknatıslar kullanarak, devinen yüklü parçacıkarın enerjilerini artırarak hızlarını yükselten makine.
Planck'ın tanecik ilkesi	(Planck's quantum principle)	Işık (ya da herhangi klasik bir dalga) enerjisi frekansı ile orantılı tanecikler halinde yayınlanabilir ya da soğurulabilir düşüncesi.
pozitron	(positron)	Elektronun (artı yüklü) karşıparçacığı.
proton	(proton)	Artı yüklü ve çoğu atomların çekirdeğindeki parçacıkların yarısını oluşturan parçacık.
pulsar	(pulsar)	

R

radar	(radar)	Radyo dalgaları darbesi kullanarak nesnelerin konumunu saptayan aygıt.
renk yelpazesi	(spectrum)	Örneğin bir elektromanyetik dalganın bileşke frekanslarına ayrılması.
röntgen ışını	(X-ray)	

S

Saman Yolu	(Milky Way)	Dünyamızdan da gözleyebildiğimiz evrende bize yakın bir yıldızlar kümesi.
sanal zaman	(imaginary time)	Sanal sayılarla ölçülen zaman.
sarmal	(spiral)	Spiral biçiminde.
sav	(argument)	
sezilgen parçacık	(virtual particle)	Gerçek olmayan fakat varlığı sezilebilen, zımni parçacık.
sezyum	(cesium)	Bir element.
sığınık	(refugee)	Mülteci
sınırsızlık koşulu	(no boundrary condition)	
sonusmaz özgürlük	(asympotic freedom)	
spektrum	(specturm)	Bkz. renk yelpazesi
stadyum	(stadium)	Yaklaşık 190 metreye karşılık çok eski bir uzunluk birimi.
statik	(static)	Devinimsiz, hareketsiz, sabit, değişmeyen
süperçekim	(supergravity)	
süpernova	(supernova)	
süpersoğutulmuş	(supercooled)	Donma derecesinin altında dondurmadan soğutulmuş.
süreç	(process)	

Ş

şişen evren modeli	(inflationary model of the universe)	

T

tanecik mekaniği	(quantum mechanics)	Kuvantum mekaniği.
tanıt	(evidence)	Delil, delil ile ispat
tekil nokta	(singular point)	
tekillik	(singularity)	
tekillik teoremi	(singularity theorem)	
temel parçacık	(elementary particle)	Bölünmeyen parçacık.
tez	(thesis)	

U

uydu	(satellite)	Noktaları olayları tanımlayan dört boyutlu uzay.
uzay-zaman	(space-time)	

U

üstel	(exponential)	

Y

yapışkantop	(glueball)	
yay kuramı	(string theory)	
yeniden normalleştirme	(renormalization)	
yerçekimi	(gravity)	Yerkürenin kütlesel çekim kuvveti.
yetkin	(perfect)	Mükemmel.
yıldız kümesi	(galaxy)	Birlikte devinen yıldızlar topluluğu. Sistem.
yörünge	(orbit)	

Z

zaman oku	(arrow of time)	Dört temel kuvvetten kısa menzilli ve ikinci en zayıf olanı. Kuvvet taşıyan parçacıklar dışında her madde parçacığını etkiler.
zayıf kuvvet	(weak force)	

CARL SAGAN'ın ÖNSÖZÜYLE

"Bedeni, tekerlekli sandalyesinin tutsağı.
Ama beyni o denli hareketli ki, evrenin gizlerini günışığına çıkarabilmek için zamanın ve uzayın uçsuz bucaksızlığında sanki dörtnala koşuyor."

TIME

"20, yüzyılın fizikçilerinin elde ettikleri sonuçlar nesnel bir biçimde değerlendirildiğinde, Stephen Hawking'inkiler bilim dağarcığının en önemli yerini alacaktır."

ASTRONOMY

"Stephen Hawking fizik dünyasının 'supernova'sı olabilmek kiçin amansız bir hastalığı yenmeyi başardı. Yazamamasına, hatta doğru dürüst konuşamamamasına karşın, görecelik kuramından kuantum mekaniğine, bing bang'den (büyük patlama), evreni yaratan 'geometrinin dansına' sıçrayıp duruyor."

Kimothy Ferris VANITYFAIR

ISBN 975-506-003-C

